

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

Univerzální GSM komunikační jednotka
pro diagnostické systémy

Universal GSM Communication Unit
for Diagnostics Systems

2013

Bc. Jiří Hájovský

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jiří Hájovský**
Studijní program: **N2649 Elektrotechnika**
Studijní obor: **2612T015 Elektronika**
Téma: **Univerzální GSM komunikační jednotka pro diagnostické systémy**
Universal GSM Communication Unit for Diagnostics Systems

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rozbor způsobů řešení možných bezdrátových přenosů dat pro oblast použití v diagnostických a monitorovacích systémech.
2. Navrhněte a realizujte univerzální jednotku pro přenos dat s využitím GSM modulů a s možností připojení k mikropočítačovému systému.
3. Ověřte funkčnost realizovaného vzorku v praktické aplikaci přenosu dat na základě pokynů vedoucího diplomové práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

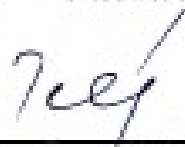
Dle pokynů vedoucího závěrečné práce.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.06.2013



doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární
prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 30. 4. 2013


.....
Bc. Jiří Hájovský

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval doc. Ing. Petru Palackému, Ph.D., za velmi cenné technické připomínky a rady.

Abstrakt

Cílem této diplomové práce bylo provést rozbor možných způsobů přenosu dat pro oblast použití v diagnostických a monitorovacích systémech a realizovat univerzální komunikační GSM jednotku na bázi mikrokontroléru a GSM modemu. První stránky práce se věnují způsobům bezdrátové komunikace ještě před objevem elektrické energie, dále vzniku prvních bezdrátových telegrafů a telefonů a rozvoji mobilních sítí. Následuje rozbor způsobů přenosu dat na velké vzdálenosti, tedy přenos dat SMS zprávami a internetovým připojením pomocí mobilních sítí a satelitního připojení. Dále je popsán rozbor způsobů přenosu dat na krátké vzdálenosti realizovaný optickým propojením a malými bezdrátovými rádiovými sítěmi.

Druhá část práce se zabývá návrhem a realizací univerzální GSM komunikační jednotky. Je popsán koncept celého zařízení, jednotlivé bloky, jejich význam a v některých případech je ověřena jejich funkčnost měření. U některých bloků je také popsána jejich návaznost na řešení firmwaru. Závěr této práce je věnován ovládání GSM jednotky.

Klíčová slova:

bezdrátová komunikace, telekomunikační síť, GPS, GPRS, EDGE, UMTS, HSDPA, LTE, WLAN, WiFi, Bluetooth, ZigBee, WiMAX, optický přenos, SMS, GSM modem, komunikační jednotka, mikrokontrolér, HCS08GT60A, alfanumerický LCD displej, teplotní čidlo SMT160, SPI, Quectel M75, UART, AT příkaz

Abstract

The aim of this thesis was to analyze the possible ways to transfer data for the use in diagnostic and monitoring systems and implement universal GSM communication module based microcontroller. The first pages of this work are devoted to ways of wireless communication before the discovery of electricity, first wireless telegraphs and telephones. The analysis of ways to transfer data over long distances via mobile networks, satellite connections and short distances via optical interconnection technology, and various small wireless networks.

The second part deals with the design and implementation of the GSM communication module. There are described the individual logic blocks, their importance and functionality. Some blocks are described in the continuity to the firmware. The conclusion of this thesis is devoted to control the GSM unit.

Keywords:

wireless communication, telecommunication network, GPS, GPRS, EDGE, UMTS, HSDPA, LTE, WLAN, WiFi, Bluetooth, ZigBee, WiMAX, optical transmission, SMS, GSM modem, communication unit, microcontroller, HCS08GT60A, alphanumeric LCD display, temperature sensor SMT160, SPI, Quectel M75, UART, AT command

Seznam obrázků:

Obr.1. GSM modem Quectel M80	20
Obr.2. GSM modem BGS2 Terminal	20
Obr.3. GSM spínač-zásuvka řízená GSM rozhraním	21
Obr.4. Phoenix contacts PLC–ILC 150 GSM/GPRS	22
Obr.5. Modem PH8 firmy Gemalto	24
Obr.6. Option GTM382E.....	25
Obr.7. Iridium 9522B Satellite Transceiver.....	26
Obr.8. Satelitní modem Iridium 9603	27
Obr.9. Laserové pojítko TereScope 700/G.....	28
Obr.10. Bezdrátová venkovní kamera SC–IP673	29
Obr.11. Phoenix Contact PSI–WL–RS232–RS485/BT/2DO	30
Obr.12. Blokové schéma GSM jednotky	32
Obr.13. Zaznamenané průběhy poklesu napájení a obsluhy přerušení IRQ	35
Obr.14. Vývojový diagram inicializace displeje	37
Obr.15. Vývojový diagram zápisu na řádek displeje.....	37
Obr.16. Časování sledu signálů	38
Obr.17. Měření a výpočet střidy	39
Obr.18. Porovnání naměřené a vypočtené hodnoty.....	41
Obr.19. Signály komunikačního rozhraní SPI	45
Obr.20. Osciloskopický záznam průběhu signálů SCK a SDI.....	46
Obr.21. GSM modem Quectel M75	47
Obr.22. Vnitřní blokové schéma GSM modemu Quectel M75	48
Obr.23. Osciloskopický záznam - zvlnění napájecího napětí GSM modemu	49
Obr.24. Posuny dat v registrech během sériového přenosu	51
Obr.25. Osciloskopický záznam reálného sériového přenosu	51
Obr.26. Program Terminal 1.9b, ukázka komunikace	53
Obr.27. DPS k prvním pokusům s GSM modemem.....	55
Obr.28. Testovací sestava.....	57
Obr.29. Vývojové prostředí CodeWarrior v6.3	58
Obr.30. Čelní panel GSM komunikační jednotky	60
Obr.31. Pohyb tlačítka v položkách menu.....	63
Obr.32. Odeslaná a přijatá SMS	66

Seznam použitých zkratk:

A/D	analogově digitální
A_{MAX}	velikost maximálního proudu
A_{RMS}	velikost efektivního proudu
bit/s, kbit/s, Mbit/s, Gbit/s	bitů za sekundu – jednotka komunikační rychlosti
bps, kbps, Mbps, Gbps	Bit per Seconds – jednotka komunikační rychlosti
CTR	Current Transfer Ratio
D.C.	Duty Cycle
D/A	digitálně analogový
DPS	deska plošných spojů
GPS	Global Positioning Systém
GSM	Global System for Mobile Communications
I_{LEAK}	zbytkový proud tranzistorem
LCD	Liquid Crystal Display
mosfét	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
OZ	operační zesilovač
PC Based	zařízení na bázi osobního počítače
ppm	Parts per million
SIM	Subscriber Identity Module
T	teplota
t, t_1 , t_2	čas
TTL	Transistor-Transistor Logic
UART	Universal Asynchronous Receiver and Transmitter
USB	Universal Serial Bus
V_{AC}	velikost střídavého napětí
V_{DC}	velikost stejnosměrného napětí
V_{RMS}	velikost efektivního napětí
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

Seznam příloh:

Příloha č. 1. Schéma GSM komunikační jednotky

Příloha č. 2. DPS GSM komunikační jednotky - top

Příloha č. 3. DPS GSM komunikační jednotky - bottom

Příloha č. 4. Osazovací plán GSM komunikační jednotky - top

Příloha č. 5. Osazovací plán GSM komunikační jednotky - bottom

Příloha č. 6. Seznam součástek GSM komunikační jednotky

Příloha č. 7. GSM_unit_v01.sch - pouze na přiloženém CD

Příloha č. 8. GSM_unit_v01.brd - pouze na přiloženém CD

Příloha č. 9. GSM_unit_v01.rar - archív projektu CodeWarrior IDE - program pro mikrokontrolér - pouze na přiloženém CD

Obsah:

Úvod	12
1 Historie bezdrátové komunikace	13
1.1 Komunikace v dávnověku	13
1.2 Objev elektřiny, magnetizmu a rádiových vln.....	14
1.3 První telekomunikační sítě	15
1.4 Vznik GSM sítě	16
2 Bezdrátový přenos dat	17
2.1 Vlastnosti a technologie	17
2.2 GSM komunikační modemy a jednotky	18
2.2.1 Výhody a nevýhody.....	18
2.2.2 Konstrukční řešení.....	19
2.3 Internetové připojení	22
2.3.1 Připojení pomocí mobilní sítě	22
2.3.2 Satelitní připojení k internetu	25
2.4 Malé lokální sítě	27
2.4.1 Optický přenos.....	27
2.4.2 WiFi.....	28
2.4.3 Bluetooth	29
2.4.4 ZigBee	30
2.4.5 WiMAX.....	31
3 Návrh GSM komunikační jednotky.....	32
3.1 Koncept	32
3.2 Nastavení jádra a časovače mikrokontroléru.....	33
3.3 Blok napájecího zdroje	34
3.4 Alfnumerický LCD displej	36
3.5 Tlačítka.....	38
3.6 Teplotní čidlo SMT160	39
3.6.1 Popis čidla	39
3.6.2 Obvodové zapojení a měření	40
3.7 Digitální vstupy	42
3.8 Digitální výstupy	43

3.9	Analogové vstupy	43
3.10	Analogové výstupy	44
3.10.1	Koncepce analogového výstupu	44
3.10.2	SPI komunikační rozhraní	44
3.11	Digitální modulové voltmetry	46
3.12	GSM modem Quectel M75, R2.0	46
3.12.1	Vlastnosti a funkce	46
3.12.2	Napájení GSM modemu	49
3.12.3	Ovládání GSM modemu, UART, AT příkazy	50
3.12.4	Programování zasílání textových řetězců	54
3.13	Vývoj GSM komunikační jednotky	55
4	Finální GSM komunikační jednotka	59
4.1	Charakteristika finálního výrobku	59
4.2	Ovládání GSM komunikační jednotky:	61
4.2.1	Korektní zapnutí přístroje	61
4.2.2	Položky menu	63
4.2.3	Nastavování výstupů GSM jednotky	64
4.2.4	Odesílání SMS zpráv z GSM jednotky	65
4.2.5	Komunikace dvou a více GSM jednotek	66
5	Závěr	67
	Seznam použité literatury	68

Úvod

První kapitoly této práce se věnují problematice bezdrátového přenosu dat. Na úvod je čtenář stručně seznámen s historií komunikace pomocí primitivních technik od dob před naším letopočtem až po sofistikovaný způsob komunikace pomocí optických telegrafů. Objev elektrické energie a následně rádiových vln je zlomovým okamžikem v historii lidstva. Vznikají první bezdrátové telegrafy a telefony, později první mobilní sítě. I těmto tématům je poskytnuta pozornost. Následuje rozbor výhod a nevýhod bezdrátového přenosu dat a nastínění moderních technických možností pro bezdrátový přenos dat. Jednotlivé technologie jsou v rámci práce stručně popsány. Velká míra pozornosti je pak věnována výhodám a limitům použití SMS zpráv pro účely diagnostiky a monitoringu a také možnému konstrukčnímu řešení GSM komunikačních jednotek, jelikož tyto oblasti přímo souvisí s konstruovaným zařízením v rámci této práce. Dále jsou popsány výhody a nevýhody přenosu dat přes internet a rozebrány možné způsoby bezdrátového připojení k internetu, buď přes mobilní síť, nebo satelitním připojením. Závěrečnou část rozboru bezdrátových technologií jsem věnoval bezdrátovému přenosu dat na malé vzdálenosti, tedy optickému přenosu a technologiím malých bezdrátových sítí WiFi, Bluetooth, ZigBEE a WiMAX.

Praktickým výstupem této diplomové práce je univerzální GSM komunikační jednotka. Mým úkolem bylo vytvořit zařízení na bázi mikrokontroléru a GSM modemu, které zasílá SMS zprávy na předem nastavená telefonní čísla o stavech svých analogových a digitálních vstupů a výstupů. Zároveň lze zasláním SMS do tohoto zařízení analogové a digitální výstupy nastavovat. Problematice GSM komunikační jednotky je věnována podstatná část práce. Je popsán celý koncept vyvíjeného zařízení, jednotlivé funkční bloky, je popsán jejich význam, funkčnost, vliv na programování mikrokontroléru a v některých případech měřením dokumentována správnost jejich fungování. Je také vyličen praktický vývoj zařízení, kde jsou vysvětleny jednotlivé vývojové fáze. Závěr práce se pak věnuje obsluze univerzální GSM komunikační jednotky, je vysvětleno nastavení a ovládání. Jsou zde rovněž popsány příkazy k ovládání digitálních a analogových výstupů pomocí SMS zpráv a uvedeny názorné příklady.

1 Historie bezdrátové komunikace

Můžeme usoudit, že bezdrátový přenos dat je pouze určitým zkonkrétněním bezdrátového přenosu informace. Již od dávnověku bylo snahou a potřebou lidstva přenášet informace na co největší vzdálenosti za co možná nejkratší dobu. Bylo vynalezeno mnoho způsobů „bezdrátové“ komunikace na velké vzdálenosti, a to i v době, kdy dráty ještě vůbec neexistovaly.

1.1 Komunikace v dávnověku

Jedním z prvních způsobů dorozumívání se obyvatel jedné vesnice či osady do druhé bylo využití bubnů. Jednalo se o vydlabané kmeny stromů, které po úderu kamenem vydávaly zvuky. Tyto bubny se nazývaly podle místa původu. V Africe se jednalo o bubny bongo–bongo. Američtí indiáni je zase nazývali tam–tam. Jednotlivé vesnice či osady byly od sebe značně vzdáleny a navíc také odděleny hustým lesem. Použití zvukových signálů bubnů bylo tak použitelné pouze na relativně malou vzdálenost. Výhodnější se v tomto směru jevily kouřové a světelné signály. Již Homér ve své Iliadě v roce 1184 před naším letopočtem popisuje, jak Řekové pomocí ohňů ohlašují do své vlasti zprávy o dobytí Tróje. Postupně byl vypracován důmyslný systém předávání zpráv pomocí dvou věží s cimbuřím a signálních ohňů. Jednotlivé znaky, výjimečně i celé zprávy, byly realizovány kombinacemi a rozmístěním ohňů v cimbuřích věží. Takové předávání zpráv se vzdáleně podobalo dnešní morseovce.

V pozdějších dobách ve starověkém Řecku, konkrétně např. v boji o Thermopyly, byla využita signalizace a předávání si jednoduchých zpráv odraženými slunečními paprsky pomocí zrcadel. Další metodou předávání zpráv u vojska byli běžci zvaní spojky. Bezesporu každý zná příběh, kdy roku 490 před naším letopočtem řecký voják Feidipidés běžel do Athén oznámit výsledek bitvy u Maratónu. V cíli pouze oznámil „Zvítězili jsme.“ a následně vyčerpáním zemřel. Naštěstí je dnes tato metoda komunikace na velké vzdálenosti překonána.

K přepravě zpráv na velké vzdálenosti byli také využiti poštovní holubi. Z nejstarších záznamů víme, že holuby k přepravě zpráv využívali už dávní Fénici. Ti takto posílali zprávy na svých zámořských cestách. Holubí pošta v Evropě se rovněž osvědčila v době, kdy byla Paříž obléhána Prusy. Tehdejší fotograf Dagron dokázal zmenšit tištěný nebo psaný text na mikrofilm a jeden holub tak mohl nést daleko delší zprávu přes pruské linie na venkov. Poštovní holubi našli uplatnění i v první světové válce, kdy bylo nutné doručit zprávy od vojenského velení k odříznutým jednotkám.

Námořní loďstvo používalo zcela odlišnou technologii, a sice byl vypracován důmyslný systém signalizací pomocí praporků. Tato metoda se využívala po celá staletí. Z důvodu členitosti terénu však nebyla vhodná pro pozemní komunikaci. To se snažil napravit Robert Hook, který roku 1684 představuje první pozemní optický telegraf, avšak bez velkého úspěchu. Až téměř o sto let později ve Francii roku 1790 byl bratry Chappeovými navržen a realizován optický telegraf určený k umístění na vyšších místech, budovách, věžích a podobně. První veřejná prezentace pak proběhla v březnu 1791. Jednalo se o šachovnicově rozmístěné dřevěné panely, které bylo možno natáčet pomocí soustavy lan a kladek. Různým kombinacím viditelných a natočených panelů bylo přiřazeno 25

symbolů. Jeden z bratrů, Claude Chappe, o tři roky později v roce 1793 navrhl a zkonstruoval první semaforový telegrafní systém. Jednalo se o komunikační věž, na jejímž vrcholu bylo umístěno rameno ve vodorovné poloze a na každém konci ještě dvě kratší ramena. Tento systém napodobuje osobu s rozpaženýma rukama držící signalizační praporky. Všechna tři ramena bylo možno natáčet v úhlu 45°. Existovalo tak až 196 možných kombinací a mohlo se posílat až 196 symbolů. Mezi Paříží a Lile byla vytvořena první komunikační trasa o délce 190 km, která obsahovala 22 semaforových stanic. Přenos jednoho znaku trval pět minut. Začaly vznikat i další přenosové trasy, z nichž nejdelší měřila 370 km a vedla z Paříže, přes město Dijon do města Lione. Požadavky na objem, rychlost a vzdálenost přenosu zpráv však časem přestaly vyhovovat. [7]

1.2 Objev elektřiny, magnetizmu a rádiových vln

V roce 1800 byl objeven Voltův článek – první použitelný zdroj elektrické energie. Dánský fyzik a chemik Hans Christian Ørsted při svých pokusech s elektřinou roku 1820 zjistil, že poblíž vodiče protékajícím elektrický proud dochází k vychylování střílky kompasu. Upozornil tak na první možné závislosti mezi elektřinou a magnetizmem. Francouzský fyzik François Arago ve stejné době odhalil, že průchod elektrického proudu vodičem zapříčiňuje v jeho okolí natáčení železných pilin do kruhu. Následně zjistil, že stočením vodiče do tvaru dnes již známé cívky se tento účinek na železné piliny značně zesiluje. Na Ørstedův výzkum navázal francouzský fyzik André-Marie Ampère a poprvé definoval teorii magnetizmu. O všechny tyto práce se začal zajímat další velký fyzik – Michael Faraday. Roku 1831 začal zkoumat, zda je závislost mezi elektrickým proudem a magnetismem reverzibilní, zda může vzniknout v uzavřeném elektrickém obvodu proud pomocí magnetického pole. Díky tomuto výzkumu byla následně objevena magnetická indukce, kterou se dále zabýval skotský fyzik James Clerk Maxwell. Výsledkem jeho šetření jsou tzv. Maxwellovy rovnice, soustava čtyř rovnic popisující vzájemné působení elektrického a magnetického pole.

Samuel Morse sestrojil v roce 1837 první funkční telegraf. Telegrafy byly sice závislé na drátovém propojení, avšak při jednom z pokusů se Morse snažil dokázat, že vodiče vedou signál i pod vodou. Projíždějící lodí byly dráty přetřeny, ale i přesto se díky vodivosti vody podařilo signál přenést – jednalo se tedy o první bezdrátový přenos informací na základě elektrické energie. První, komu se podařilo vysílat a přijímat elektromagnetické vlny, byl Heinrich Hertz. Zařízení však nebylo možno použít jako praktický vysílač a přijímač, jelikož nebylo schopno fungovat na větší vzdálenosti. První osobou, která byla schopna přenést informace na větší vzdálenost skrze atmosféru, byl s největší pravděpodobností roku 1865 zubař Mahlon Loomis. Jeho zařízení pracovalo na principu magnetické indukce a skládalo se ze dvou papírových létajících draků s kovovou kostrou. K jednomu z nich byla připojena vysílací část telegrafu, ke druhému pak galvanometr, který měřil a zaznamenával přijímané signály. Takto se Mahlonu Loomisovi podařilo navázat spojení až na vzdálenost 18 mil.

Největších úspěchů v oblasti radiotechniky dosáhl inženýr Guglielmo Marconi, kterému jsou připisovány nejvýznamnější zásluhy o bezdrátovou komunikaci na principu elektromagnetických vln. Jeho zařízení bylo v roce 1896 schopno komunikovat na vzdálenost přes 1,6 km, avšak pracovalo na dlouhých vlnových délkách a z toho důvodu bylo velice energeticky náročné. Nadále jej proto zdokonaloval a už o rok později přenášel rádiové signály mezi pobřežím a lodí na vzdálenost 29 km. V roce 1899 byla díky Marconiho zásluze zahájena první komerční komunikace mezi Anglií a Francií.

Dva roky poté byl inženýr schopen komunikovat až na vzdálenost 322 km a ještě v téže roce úspěšně přenesl písmeno „S“ přes Atlantický oceán. Roku 1902 dochází k běžné výměně zpráv mezi Evropou a Amerikou. V roce 1905 již mnoho lodí využívá rádiové komunikace jako možnost spojení s pevninou. Guglielmo Marconi se také výrazně podílel na vývoji vysílačů a přijímačů pracujících na krátkých vlnách. Přišel na to, jak reflektory soustředí signál, že tak dochází ke zlepšení účinnosti v daném směru a ke zmenšení možnosti odposlechu nepřítelem. Postupem času vytvořil zařízení pracující s délkou vlny až kolem 0,5 m.

Roku 1906 bylo zjištěno, že bezdrátový telegraf může díky amplitudové modulaci přenášet kromě kódovaných signálů také hudbu a lidský hlas. Na Štědrý den tohoto roku byl poprvé v historii odvysílán rozhlasový pořad. V roce 1915 byl uskutečněn bezdrátový telefonní hovor mezi New Yorkem a San Franciskem, tedy na vzdálenost 4022 km. O pár hodin později byl proveden bezdrátový hovor mezi Washingtonem a Honolulu, zde se jedná o vzdálenost 7884 km. To však již bylo díky vynálezu elektronek a použití elektronek v přijímačích. V roce 1924 Alexander Graham Bell sestruje první mobilní rádio. Ve stejném roce dochází díky Johnu Logie Bairdovi k prvnímu bezdrátovému přenosu obrazu. Zatím ale lze rozeznat pouze obrysy objektů, až o rok později poznatelnou lidskou tvář. Roku 1929 bylo zahájeno první pokusné televizní vysílání. V roce 1933 je patentován Edwinem Howardem Armstrongem systém frekvenční modulace. Oproti doposud využívané amplitudové modulaci se jednalo o obrovský skok ve kvalitě přenosu. [7][8]

1.3 První telekomunikační sítě

Společnosti AT&T a Southwestern Bell představily roku 1946 první řešení radiotelefonů pro veřejnost. Jednalo se o radiotelefony instalované do automobilů. Z důvodu nepříliš výkonných antén bylo však potřeba propojení přes hlavní výkonové antény. Podle kvality signálu z nich byla vybrána ta nejvhodnější. Takové stanice s anténami byly propojeny klasickými telefonními kabely s hlavní centrálou. V prosinci o rok později byl v Bell Laboratories navržen princip mobilní sítě tak, jak jej známe dnes. Společnost Richmond Radiotelephone Company v roce 1948 poprvé spouští automatickou telefonní síť, kde není potřeba operátora k uskutečnění hovoru. I přesto využívá většina telefonních sítí lidského operátora až do šedesátých let.

V roce 1948 byl poprvé představen bipolární tranzistor a roku 1954 zahájila společnost Texas Instruments sériovou výrobu křemíkových tranzistorů. V tomtéž roce bylo sestrojeno první tranzistorové rádio. Padesátá a šedesátá léta byla ve znamení výzkumu celulárních sítí. První komerční celulární síť byla spuštěna roku 1978 v Bahrajnu. Síť byla sice určena pro královskou rodinu, avšak byla dostupná i obyvatelům Bahrajnu. V tomtéž roce spustila společnost AT&T testovací provoz celulární mobilní sítě s názvem AMPS v okolí Chicaga. Síť fungovala na frekvenci 800 MHz. Po úspěšném testovacím provozu začala společnost budovat vysílače po celých Spojených státech, avšak FCC (Federal Communications Commission) nepovolila spuštění sítě, dokud se nenajde konkurující společnost.

První mobilní síť v USA byla uvedena do provozu pro komerční účely až v roce 1983. V Norsku, Švédsku, Finsku a Dánsku byla spuštěna první síť roku 1981 s názvem NMT450 pracující na frekvenci 450 MHz. Ve Velké Británii byla roku 1985 zavedena síť TACS pracující na frekvenci 900 MHz, v Itálii RTMS a ve Francii RadioCom 2000. Z důvodu velkého počtu mobilních sítí

v Evropě zahájila Evropská komise pro pošty a telekomunikace projekt Groupe Speciale Mobile (GSM). Měla být vyvinuta celoevropská plně digitální mobilní síť pracující na frekvenci 900 MHz. [8]

1.4 Vznik GSM sítě

Evropský telekomunikační institut v roce 1989 převzal zodpovědnost nad vývojem GSM. O rok později došlo ke zveřejnění prvního návrhu standardu. Byl pak vydán roku 1991 a ještě v téže roce byla na Ženevském telekomunikačním veletrhu spuštěna první GSM zkušební síť. Vysvětlení zkratky GSM se změnilo na Global System for Mobile Communication. V průběhu roku 1992 došlo ke zprovoznění prvních sítí v Německu, Francii, Dánsku, Finsku, Švédsku, Itálii a Portugalsku. První roamingová dohoda byla podepsána 17. června 1992 mezi anglickým Vodafone a finským Telecom Finland. Díky plně digitální povaze sítě GSM byl umožněn přenos dat a dne 3. prosince 1992 byla poslána a přijata první SMS. Jde o počátky evropské mezinárodní sítě. [8]

Na konci roku 1993 už využívalo službu GSM celý milión zákazníků. GSM asociace se skládala ze 48 zemí a celkem ze 70 členů, včetně australské společnosti Telstra. GSM standard tedy překročil hranice Evropy. Ve Velké Británii zároveň probíhal vývoj systému DCS1800, který stál na základech GSM, ale pracoval na frekvenci 1800 MHz. V září 1993 byla tato síť poprvé spuštěna ve Velké Británii. Roku 1995 došlo k definování nového standardu GSM Phase 2, jenž zahájil provoz dalších služeb, například datové přenosy a faxové služby. Později došlo k přejmenování standardu DCS1800 na GSM1800. V roce 1996 byla spuštěna první GSM síť v Rusku a Číně, vznikly předplacené SIM karty, celkem existovalo 167 sítí v 94 zemích světa.

Od této chvíle nastal skutečně raketový vzestup mobilních sítí. V roce 2000 byly spuštěny GPRS služby, začaly aukce 3G licencí. Během prvních tří měsíců roku 2001 bylo posláno přes 50 miliard SMS. V roce 2002 je už zavedena GSM síť v 95 procentech zemí světa, ročně posláno 400 miliard SMS. První EDGE síť vznikají v roce 2003, ročně se celosvětově prodává půl miliardy mobilních telefonů. Na síť GSM je v roce 2004 připojena jedna miliarda zákazníků, o rok později již jeden a půl miliardy uživatelů mobilních telefonů. Je zprovozněna první HSDPA síť, ročně je celosvětově odesláno přes bilion SMS. Počet zákazníků v roce 2006 dosahuje dvě miliardy. V roce 2009 byla spuštěna první komerční síť HSPA+. O rok později je celosvětově prodáno 1,6 miliardy mobilních telefonů. [9]

2 Bezdrátový přenos dat

2.1 Vlastnosti a technologie

Největší výhodou bezdrátové komunikace je právě její „bezdrátovost“, která umožňuje na dálku ze kteréhokoli místa na planetě majitelům technologických celků sledovat produktivitu práce, programátorům a technikům kontrolovat stav zařízení, přehrávat nebo ladit firmware a podobně. Pro nejjednodušší aplikace, ovládání a signalizaci bez potřeby přenosu velkého množství dat je přenos informací skrze SMS zprávu ideální volbou. V případě velkých datových toků na značné vzdálenosti je nutné připojení k internetu telekomunikačními sítěmi GPRS, EDGE, UMTS, HSDPA, prostřednictvím rádiové sítě WiFi nebo satelitním připojením. Připojení k internetu je možné také pomocí telefonní linky, nejedná se však o bezdrátové připojení.

Absence kabeláže je velmi užitečná také při přenosu dat na mnohem kratší vzdálenosti. Přenos může být realizován optickými pojítky nebo různými technologiemi malých bezdrátových rádiových sítí jako WiFi, Bluetooth, ZigBee a WiMAX. Převážně se jedná o náhradu komunikačních rozhraní nebo o komunikaci bezdrátových čidel s nadřazenou jednotkou. U pohybujících se strojů, rotujících strojů a jejich částí nevzniká mechanické opotřebení, snižují se požadavky na údržbu a náklady na servis. Aplikace zařízení na bázi bezdrátové komunikace je rychlá, odpadají komplikace při překonávání problémových oblastí. V historických budovách, hradech a zámcích není nutné provrtávat zdi za účelem protažení kabeláže. Eliminují se také problémy způsobené výpadkem kabeláže. Návrh i realizace lokální bezdrátové sítě je rychlejší a jednodušší, v porovnání s jinými možnostmi může být mnohdy i levnější. Velkou výhodou je rovněž pružnost, možnost rychlého rozšíření o další čidla nebo senzory.

I přes všechny výše zmíněné výhody však nejsou bezdrátové systémy všemocné a nemá tedy smysl nahrazovat každý vodič nebo optické vlákno bezdrátovou linkou. Mnozí odborníci na průmyslovou automatizaci jsou k problematice bezdrátového přenosu dat stále skeptičtí. Existuje jistá nedůvěra ke stabilitě, spolehlivosti a bezpečnosti bezdrátové komunikace. Nevýhodou bezdrátové komunikace je společné přenosové médium – vzduch. Bezdrátové sítě se mohou vzájemně rušit. Dochází k odrazům vln od kovových předmětů, kterých je v průmyslovém prostředí velké množství. Pro použití v průmyslu bylo proto nezbytné zlepšit filtraci signálu, tedy lépe oddělit data od šumu. Použitím metod rozprostřeného spektra, jakými může být DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) pro WiFi standard IEEE 802.11b/g nebo FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) pro Bluetooth standard IEEE 802.15.1, se stává přenos stabilní i přes téměř jakékoliv rušení. Mnohé zkoušky a zkušenosti z praxe ukazují, že spolehlivost korektně nainstalovaného bezdrátového pojítka může být srovnatelná se spolehlivostí kabelového vedení. Bezdrátová řešení určená pro obydlí a kanceláře by však v průmyslových podmínkách mnohdy vůbec nefungovala, nemluvě o jejich spolehlivosti. Velkou nevýhodou bezdrátového řešení je vyšší latence oproti kabelovému přenosu, problém tak nastává u aplikací pracujících v reálném čase. [1]

2.2 GSM komunikační modemy a jednotky

Jelikož v monitorovacích a diagnostických úlohách nemá přenos hlasu velké uplatnění, bude následující text zaměřen na přenos informací pomocí krátkých textových zpráv – SMS (Short Message Service). Použití zařízení komunikujícího s okolím na základě GSM sítě má řadu výhod, které nedokáže poskytnout žádná jiná bezdrátová technologie. Na druhou stranu mají však i spoustu nevýhod, jež řeší jiné technologie bezdrátové komunikace.

2.2.1 Výhody a nevýhody

Nejprve se budeme věnovat výhodám používání zařízení využívajících GSM síť a ovládání různých zařízení pomocí SMS. K síti GSM se lze připojit všemi mobilními telefony, jedná se o nejrozšířenější pozemní síť, na kterou se lze napojit v civilizovaných zemích téměř všude. Místa bez možnosti připojení k síti mohou být například odlehlé vesnice, sklepy nebo vrcholky hor. Drtivá většina lidí vlastní mobilní telefon a nosí jej neustále s sebou. Nejen že lze pomocí GSM sítě komunikovat v rámci stejného operátora, ale také lze telefonovat a posílat SMS uživatelům mobilních telefonů po celém světě bez ohledu na to, kterého operátora používají. Posílání SMS zpráv je podporováno absolutně všemi mobilními telefony. Z mobilního telefonu lze odesílat a přijímat SMS bez ohledu na čas nebo místo, kde se daná osoba právě nachází. Kdykoli lze poslat SMS a ovládat tak nějakou vzdálenou jednotku, ať už se jedná o aktivaci otopných systémů na chatě, zakódování objektů nebo nastavení parametrů monitorovacích a diagnostických zařízení. Na rozdíl od hlasového hovoru je posílání i čtení SMS naprosto tiché. Pokud je nezbytné takovou zprávu přečíst nebo odeslat, nemusí docházet k opuštění divadla, kina či knihovny. Další důležitou vlastností je, že SMS zpráva může být odeslána na mobilní zařízení, které se nachází v offline režimu, nebo je momentálně vypnuté. Taková zpráva je uložena u operátora do doby, než dojde k zapnutí cílového zařízení, nebo uvedení zařízení do online režimu a poté je na toto zařízení operátorem odeslána. Zasílání SMS je velmi vhodné zejména pro oznámení důležitých událostí a výstrah.

Hlavní nevýhodou komunikace pomocí SMS zpráv je, že jediná zpráva může nést pouze omezené množství dat. Tento nedostatek je částečně kompenzován možností odesílat tzv. dlouhé SMS obsahující více než 160 znaků. Prakticky je však taková zpráva rozdělena na kratší zprávy, které jsou posílány odděleně. Seskládány do jedné dlouhé zprávy jsou opět až v cílovém zařízení. Tato metoda je však pro přenos dat z monitorovacích a diagnostických zařízení nevhodná. Jedna SMS umožňuje přenést maximálně 140 bajtů (1120 bitů). Může jí být tedy být přeneseno až 160 znaků, pokud je použito 7-bitové kódování pro znaky anglické abecedy a základní interpunkci. V případě použití 16-bitového kódování Unicode UCS-2 je možno přenést 70 jakýchkoli známých znaků, včetně znaků arabštiny, čínštiny, japonštiny a korejštiny. Výraznými nevýhodami jsou dlouhá doba přenosu SMS zprávy z jednoho zařízení do druhého a také dosti vysoké náklady na každý přenesený bajt. [15]

Z výše uvedených poznatků lze tedy vyvodit závěr, že posílání informací přes SMS zprávy je zcela nepoužitelné do systémů, které kladou velké nároky na objem a rychlost přenesených dat. Naopak lze SMS zprávy pro přenos informací použít všude tam, kde je potřeba ve velkých časových intervalech přenést malé množství dat. Typické použití tak nalézáme u monitorovacích zařízení, jež posílají SMS pouze po splnění určitých podmínek nebo na vyžádání. Jsou to například alarmy, které informují při nežádoucím vniknutí do objektu, dále možnost dálkového otevírání bran a vrat, funkce termostatů zasílat údaje s aktuální teplotou a podobně.

2.2.2 Konstrukční řešení

Existuje skupina GSM modemů, které mají tu společnou vlastnost, že nejsou schopny samostatné funkce bez nadřazeného zařízení, jež by je ovládalo. Jedná se o GSM modemy, mohou být ve formě elektronické součástky v podobě integrovaného obvodu, „krabičkového“ GSM modemu, mobilního telefonu podporujícího funkci GSM modemu a GSM modemů v podobě rozšiřující počítačové karty. K těmto modemům je třeba vyvíjet vlastní hardware nebo použít PC Based zařízení, které by modem ovládalo. Jejich vývoj se tedy vyplatí pouze v případě velice specifických nároků na celkové zařízení.

Nabízejí se tedy dvě možnosti. První a složitější z nich je ovládání modemu pomocí mikrokontroléru. Takové řešení nabízí nekonečný počet možností a přizpůsobení se specifickým požadavkům na konečné zařízení. Mikrokontrolér může komunikovat s okolím pomocí jiného rozhraní, může sledovat analogové a digitální vstupy a ovládat analogové a digitální výstupy. Zároveň může být toto zařízení při správné hardwarové a softwarové koncepci velice úsporné, s nízkou spotřebou, případně schopné dlouhodobého provozu ze záložní baterie. Nevýhodou jsou jeho extrémní nároky na finanční prostředky a čas strávený vývojem.

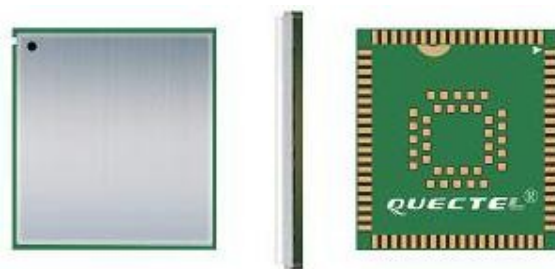
Druhou a jednodušší možností je připojit GSM modem k PC Based zařízení, například k osobnímu počítači, notebooku, průmyslovému počítači, serveru, Raspberry PI a podobně. V tomto případě by byl jednou z výhod snazší přístup k rozhraní Ethernet, WiFi, velkokapacitním harddiskům a jiným rozhraním, ke kterým je přístup pomocí mikrokontroléru těžko realizovatelný. Použití PC Based zařízení může přinést určitý komfort při psaní ovládacího software v tom smyslu, že se již není třeba starat o nejnižší hardwarové vrstvy jako v případě psaní programu pro mikropočítač. Odpadá také nutnost znalosti elektroniky a vývoje desky plošných spojů. Nevýhodami použití PC Based zařízení je jejich velká spotřeba a nutnost připojení případných rozšiřujících digitálních a analogových karet.

Typickým zástupcem skupiny GSM modemů v podobě integrovaných obvodů je řada M10 ~ M95 od firmy Quectel.

Základní technické parametry GSM modemu Quectel M80:

Napájecí napětí:	3,3–4,6 V _{DC} , typicky 4 V _{DC}
Frekvenční pásma:	Quad-band: GSM850, GSM900, DCS1800, PCS1900 – automatická volba frekvence – kompatibilní s GSM Phase 2/2+
Vysílací výkon:	Class 4 (2W) – GSM850 a GSM900 Class 1 (1W) – DCS1800 a PCS1900
Teplotní rozsah:	provozní: – 35 °C ~ + 80 °C skladovací: – 45 °C ~ + 90 °C
Služby:	hovor, SMS, GPRS, CSD, FAX
Rozhraní:	UART, ovládání AT příkazy automatické nastavení komunikační rychlosti: 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200 bps. manuální nastavení komunikační rychlosti: 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 28800, 38400, 57600, 115200 bps.

Rozměry: 25 x 25 x 2,6 mm
Hmotnost: 3,3 g



Obr.1. GSM modem Quectel M80

Mezi zástupce klasického „krabičkového“ provedení patří GSM modem BGS2 Terminal firmy Gemalto.

Základní technické parametry:

Napájecí napětí:	8–30 V _{DC}
Frekvenční pásma:	Quad-band: GSM850, GSM900, DCS1800, PCS1900
Vysílací výkon:	Class 4 (2 W) – GSM850 a GSM900 Class 1 (1 W) – DCS1800 a PCS1900
Teplotní rozsah:	provozní: – 30 °C ~ + 85 °C
Služby:	SMS, FTP, ICMP, DNS, TCP server & client, UDP client, HTTP, SMTP, POP3, Transparent Mode
Rozhraní	RS-232, RS-485
Rozměry:	80 x 55 x 23 mm
Hmotnost:	65 g



Obr.2. GSM modem BGS2 Terminal

Druhou skupinu tvoří hotové GSM komunikační jednotky, které jsou schopny samostatného provozu okamžitě po připojení napájení. Může se jednat o zařízení vyrobené za typickým a jednoznačným účelem, nebo o programovatelné jednotky a PLC, jejichž použití může být libovolné a záleží na nastavení, případně naprogramování.

Typickými zástupci v kategorii jednotek s jednoznačným účelem jsou GSM termostaty, GSM inteligentní zásuvky, alarmy nebo tzv. GSM klíče na otevírání vrat a bran. GSM termostaty mívají nejčastěji jeden bezpotenciální výstup určený ke spínání kotle či jiného otopného systému. Pomocí SMS lze nastavovat žádanou teplotu, případně teplotní regulaci zcela vypnout. Ostatní složitější nastavování režimů a funkcí se dá většinou provádět pouze z klávesnice termostatu. GSM inteligentní zásuvky jsou zařízení zapojující se mezi zásuvku a spínané zařízení. Tvoří tedy výkonový spínač, přes který je přiváděna elektrická energie z rozvodové sítě do konečného zařízení. Taková inteligentní zásuvka může být ovládána pomocí SMS, prozvoněním nebo na základě integrovaného teplotního čidla. GSM alarmy slouží k zabezpečení majetku. V případě splnění podmínky, že došlo k nežádoucímu vniknutí do chráněného objektu, je na nastavená telefonní čísla odeslána SMS informující o vniknutí do chráněné budovy. Jedná se o takzvaný tichý alarm a případný zloděj nemá ani tušení, že už o něm strážný nebo majitel objektu dávno ví. Alarm umístěný v automobilu může navíc zaslat aktuální polohu v GPS souřadnicích.

GSM spínač-zásuvka řízený GSM rozhraním:

Vstupy:	1 x 230 V _{AC} 1 x SIM karta 1 x teplota
Výstup:	1 x 230 V _{AC} /16 A _{MAX}
Spínací kontakt:	Relé, v klidu vypnuto
Tlačítka:	1 x mikrospínač
Teplotní rozsah:	provozní: 0 °C ~ + 50 °C skladovací: – 20 °C ~ 70 °C



Obr.3. GSM spínač-zásuvka řízená GSM rozhraním

Jak již bylo zmíněno, existují také zařízení podporující připojení ke GSM síti, které jsou pro potřeby průmyslové automatizace, nebo potřeby diagnostiky a monitoringu vhodnější. Takové jednotky mohou obsahovat množství digitálních a analogových vstupů, výstupů, teplotní čidla a mnoho jiných rozhraní. Celé toto rozhraní s okolím včetně funkčnosti samotného zařízení, seznamu telefonních čísel a podobně, může být nastaveno při prvotní konfiguraci zařízení přes jakýkoli PC pomocí softwaru dodaného výrobcem. Nastavovat lze například logické funkční závislosti mezi vstupy a výstupy a různé podmínky, například podmínku odeslání SMS na nastavené telefonní číslo. Pokud by však ani tyto možnosti nedostačovaly, existují programovatelné jednotky jazykem Java, nebo PLC

s integrovaným GSM modemem, což uživateli umožňuje vytvořit vlastní libovolné funkční závislosti pro svou aplikaci.



Obr.4. Phoenix contacts PLC-ILC 150 GSM/GPRS

2.3 Internetové připojení

Připojení k internetové síti je dalším možným způsobem přenosu dat na velké vzdálenosti. V případě požadavku bezdrátového připojení k internetu se prakticky nabízejí dvě možnosti, připojení pomocí mobilní sítě, nebo připojení k satelitní síti.

2.3.1 Připojení pomocí mobilní sítě

Při vývoji mobilních sítí došlo k jejich rozdělení do takzvaných generací mobilních systémů. Jsou to 1G, 2G, 2,5G, 3G, 3,5G a 4G generace a každá z nich má svá specifika. Následuje stručný popis jednotlivých generací a jejich sítí.

Generace 1G – první generace mobilních sítí. Jednalo se o analogové sítě určené pouze k přenosu hlasu. Přenos dat ani SMS nebyl možný. Do první generace patří sítě NMT, AMPS, TACS, C-Netz, RadioCom 2000, RTMS, NTT. Na některé z nich jsme narazili v kapitole „První telekomunikační sítě“. Dnes už tyto sítě neexistují.

Generace 2G – do druhé generace spadají již plně digitální systémy, kde je hlavním představitelem GSM, dále pak D-AMPS, IS-95 a PDC. Oproti analogovým sítím měly tyto systémy větší kapacitu sítě a díky kódování a digitální modulaci i odolnost vůči odposlechu a rušení. Zpočátku byly tyto systémy zaměřeny pouze na přenos hlasu. Postupem času však byly rozšířeny i o datové služby. Systém GSM sám o sobě umožňuje přenos dat rychlostí 9,6 kbit/s.

Generace 2,5G – byla další fází vývoje, který přinesl nové technologie HSCSD, GPRS a EDGE. Tím je dosaženo přenosové rychlosti až několika stovek kbit/s. Tyto datové služby poskytují

v České republice všichni operátoři a jsou dostupné všude tam, kde dosáhne síť GSM – jedná se o velice vhodné řešení bezdrátového přenosu dat přes internet.

Generace 3G – je již výhradně zaměřena na vysokorychlostní přenos dat. Jedná se o technologie UMTS a CDMA 2000, ale v Evropě je používána pouze první ze jmenovaných. V České republice poskytují 3G připojení k internetu všichni současní operátoři a dá se dosáhnout rychlosti až 384 kbit/s na downlinku. Nevýhodou je, že pokrytí sítí třetí generace se nachází pouze v okolí velkých měst. Aktuální pokrytí se dá dohledat na internetových stránkách jednotlivých operátorů. Ti se v rámci konkurenčního boje snaží svá pokrytí neustále rozšiřovat.

Generace 3,5G – vytvořila se postupným vylepšením technologie UMTS, vznikají sítě HSDPA a HSUPA, které se souhrnně označují jako HSPA+. Dochází k nárůstu rychlosti downlinku až na 1,8 Mbit/s. Pokrytí je však velice řídké, soustředěné často jen do některých částí velkých měst.

Generace 4G – do této generace spadají technologie jako WiFi, LTE. Připojení pomocí WiFi je poskytováno tzv. poskytovateli internetu v jednotlivých městech a obcích. Kvalita a rychlost připojení je pak přímo dána dohodou a spolehlivostí poskytovatele. Technologie LTE zatím není zcela komerčně zavedena. V současné době probíhají přípravy a pilotní projekty. Společnost Telefonica O2 spustila pilotní projekt LTE připojení v Jesenici u Prahy. V Mladé Boleslavi právě běží pilotní projekt společnosti T-Mobile. Nikde jinde není připojení technologií LTE dostupné.

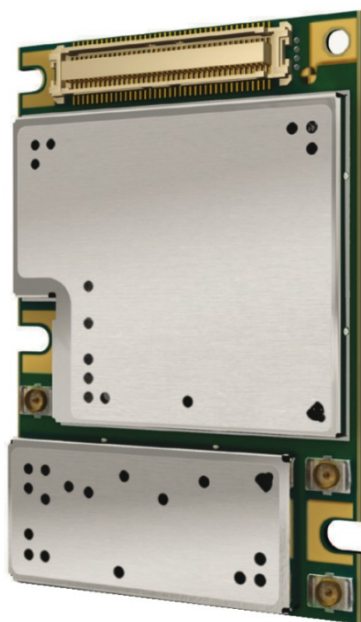
Nyní nastává otázka, jak prakticky realizovat připojení k těmto sítím. Existují modemy, které jsou určeny pro různé technologie jednotlivých generací. Velice často i ty nejlevnější GSM modemy podporují také GPRS. Samozřejmě platí, že čím je modem kvalitnější a také dražší, tím více typů a kombinací sítí podporuje. Problematika je zde velice podobná problematice klasických GSM modemů. Opět existují různé typy modemů a je jen na vývojáři, jakou cestu si zvolí. Zda bude vyvíjet zařízení na bázi monolitického mikropočítače, nebo bude modem součástí PC based zařízení. [11]

V případě potřeby přenosu velkého objemu dat a náročnosti na výpočetní výkon je jednoznačnou volbou PC based zařízení. Příkladem takového zařízení mohou být analyzátory kvality napájecí sítě s vlastním grafickým rozhraním, monitorem, zobrazující aktuální parametry napájecí sítě včetně vektorových diagramů. Velký počet takových analyzátorů rozmístěných v rámci celého kontinentu pak zasílá vzorkovaná data serveru, který tato data dále ukládá a analyzuje. Kvalifikovaným odhadem lze usoudit, že zařízení na bázi monolitického mikropočítače by tyto funkce nezvládlo.

Jako příklad zařízení postaveného na bázi mikropočítače lze uvést GPS monitorovací jednotky do automobilů, velice často využívané ke kontrole zaměstnanců. Tyto jednotky komunikují s řídicí jednotkou automobilů, zjišťují polohu podle GPS a některým z výše popsanych způsobů připojení k internetu zasílají údaje na server, kde jsou zaznamenány. Jedná se o údaje o poloze, o stavu nádrže a podobně. Nadřízený nebo majitel firmy si tak může dohledat, kudy se automobil pohyboval a zda zaměstnanec skutečně natankoval všechn benzín do nádrže, nebo si ulil pro sebe do kanystru. Nároky na výkonnost takového systému umístěného v automobilu pak nejsou velké, jelikož je třeba posílat relativně malé množství dat v dlouhých, klidně i několikasekundových intervalech.

Modem PH8 firmy Gemalto:

Napájecí napětí:	3,3 – 4,2 V _{DC}
Frekvenční pásma:	Quad-band: GSM850, GSM900, DCS1800, PCS1900 Five-band UMTS [WCDMA/FDD]: PH8: 850/850, AWS1700, 1900, 2100 Mhz PH8-P: 850/850, 900, 1900, 2100 Mhz
Teplotní rozsah:	– 40 °C ~ + 85 °C
Služby:	GSM, GPRS, EDGE, 3GPP release 99/4, UMTS, HSPA+, 3GPP repase 6/7, GPS, A-GPS, GLONASS
Rozhraní:	80-pinový konektor 2x anténní konektor pro GSM/UMTS 1x anténní konektor pro GPS Audio: 1 x analog, 1 x digital (PCM nebo I ² S) USB 2.0 UART (max. 920 kbps) – ovládání AT příkazy
Rozměry:	25 x 25 x 2,6 mm
Hmotnost:	3,3 g



Obr.5. Modem PH8 firmy Gemalto

Modem Option GTM382E mini PCI-e:

Datový modem pro notebooky v PCI Express MiniCard provedení.

Podporované technologie: HSUPA, UMTS, EDGE, GPRS, GPS

Frekvenční pásma: 4-band EDGE/GPRS (850/900/1800/1900) až 247 kbps (multislot Class 10, CS1-4, MCS1-9)
2-band HSUPA/HSDPA/UMTS (900/2100) až 7,2 Mbps/384 kbps.



Obr.6. Option GTM382E

2.3.2 Satelitní připojení k internetu

Jedná se o nejkomplikovanější a nejnákladnější způsob připojení k internetu. Proto většinou přichází na řadu, až když všechny ostatní možnosti připojení nepřicházejí v úvahu. Pokud se v místě, kde je potřeba zavést připojení k internetu, nachází špatný GSM signál, není tam zavedena pevná linka a neexistuje žádný poskytovatel WiFi, pak jsou splněny všechny podmínky pro to uvažovat o satelitním připojení. Může se jednat o odlehlé vesnice, horské chaty a podobně. Připojení pak lze realizovat například přes dvoucestné připojení Astra2Connect od platformy Skylink. V tomto případě je nezbytná satelitní anténa, jejíž stacionární povaha předurčuje k instalaci na nemovitost. Signál ze satelitů ASTRA je dostupný v celé Evropě.

V případě potřeby globálního mobilního internetového připojení je jedinou možnou cestou připojení přes systémy družic a použitím satelitních modemů nebo satelitních telefonů umožňujících funkci datového modemu. Většina družicových systémů využívaných pro přenos dat má geostacionární povahu. Takové družice obíhají po geostacionární dráze nacházející se nad rovníkem. Družice obíhá Zemi po kružnici se stejnou úhlovou rychlostí, jakou se otáčí Země. Z pohledu pozorovatele na Zemi se tyto družice nacházejí na obloze stále na stejném místě. Pro globální pokrytí Země se používají systémy minimálně tří družic. Drobnou nevýhodou geostacionárních systémů družic je neschopnost pokrýt severní a jižní póly zeměkoule. Pro drtivou většinu aplikací jsou však dostačující. Unikátem je soustava 65 komunikačních satelitů americké společnosti Iridium Satellite LLC. Síť Iridium poskytuje celosvětové pokrytí včetně polárních oblastí a leteckých tras. Jelikož tato síť nebyla primárně určena pro přenos dat, připojení k internetu je možné s maximální rychlostí pouze 9,6 kbit/s. Společnost Iridium Satellite LLC plánuje vypuštění druhé generace satelitů v počtu 66 kusů, které jsou navrženy především za účelem přenosu dat. I když je pokrytí signálem družic Iridium celosvětové, je důležité upozornit na nemožnost připojení ze států a oblastí, kde je používání satelitních telefonů a modemů zakázáno, případně je na ně uvaleno embargo Spojených států amerických. Aktuálně se jedná o oblasti v Afghánistánu kontrolované Talibanem, Kubu, Barmu, Severní Koreu, Irán, Sýrii a Súdán. [10][21]

Příklady satelitních modemů společnosti Iridium Satellite LLC:

Iridium 9522B Satellite Transceiver:

Frekvenční rozsah:	1616 MHz až 1626,5 MHz
Stabilita oscilátoru:	1,5 ppm
Vstupní/výstupní impedance:	50 Ohm
Multiplexní metoda:	TDMA/FDMA
Duplexní metoda:	TDD (Time Domain Duplex)
Teplotní rozsah:	provozní: $-30\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +70\text{ }^{\circ}\text{C}$ skladovací: $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +85\text{ }^{\circ}\text{C}$
Rozsah vlhkosti:	provozní: 25 ~ 75 % RH skladovací: max. 93 % RH
Rozhraní:	26-ti pinový IDC konektor RS232 sériové rozhraní, podpora AT příkazů 2 x anténní SMA konektor (datový a GPS)
Rozměry:	162 x 81 x 28 mm
Hmotnost:	420 g



Obr. 7. Iridium 9522B Satellite Transceiver

Satelitní modem Iridium 9603:

Napájení:	$5\text{ V} \pm 0,2\text{ V}_{\text{DC}}$, zvlnění max. 40 mV
Proudy:	klidový: 45 mA ($195\text{ mA}_{\text{peak}}$) při příjmu: 45 mA ($195\text{ mA}_{\text{peak}}$) při vysílání: 190 mA ($1,5\text{ A}_{\text{peak}}$)
Frekvenční rozsah:	1616 MHz až 1626.5 MHz
Vstupní/výstupní impedance:	50 Ohm
Multiplexní metoda:	TDMA/FDMA
Duplexní metoda:	TDD (Time Domain Duplex)
Teplotní rozsah:	provozní: $-30\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +70\text{ }^{\circ}\text{C}$

	skladovací: $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +85\text{ }^{\circ}\text{C}$
Rozsah vlhkostí:	provozní: max. 75 % RH skladovací: max. 93 % RH
Rozhraní:	napájení, TTL UART, podpora AT příkazů, indikace dostupnosti sítě
Rozměry:	31,5 x 21,6 x 8,1 mm
Hmotnost:	11,4g



Obr.8. Satelitní modem Iridium 9603

2.4 Malé lokální sítě

Dosud jsem se v této práci zabýval technologiemi přenosu dat na velké vzdálenosti. Pomocí internetového propojení nebo připojením k GSM síti a zasíláním SMS lze diagnostikovat, monitorovat, nebo naopak řídit a regulovat procesy ze vzdálenosti tisíců kilometrů. Druhou, zcela odlišnou problematikou je bezdrátová komunikace na krátké vzdálenosti, například v rámci střeženého objektu nebo výrobní haly. V tomto případě se prakticky nabízí dvě základní technologie, a sice optický přenos za použití optických pojítek, nebo rádiový přenos. V případě rádiového přenosu dat se jedná o technologie a standardy WiFi, Bluetooth, ZigBee a WiMAX.

2.4.1 Optický přenos

Jak již název napovídá, jedná se o přenos informací, kde přenosové médium tvoří svazky světelných paprsků. Tato technologie je využívána převážně ve venkovních prostorách. Nejčastější důvody nasazení technologií optického přenosu dat mohou například být požadavky okamžité výstavby, dočasná instalace, nasazení v husté městské zástavbě nebo při překonávání obtížného terénu, jako jsou řeky, lesy nebo dálnice. Zařízení, která jsou schopna vysílat nebo přijímat světelné svazky, se nazývají optická pojítka. Prakticky se jedná o převodníky z téměř jakéhokoli rozhraní na optiku. Na trhu lze běžně nalézt optická pojítka s komunikačním rozhraním PROFIBUS, RS-232, RS-485, 8bit parallel, Ethernet a jiné. Jednoznačnou výhodou oproti bezdrátovým rádiovým technologiím je vyšší

propustnost dat. Nejvýkonnější optické pojítko z hlediska propustnosti dat, které se mi podařilo dohledat, je zařízení TereScope2000/G, kde výrobce udává přenosovou rychlost až 1,25 Gbps. Proto se technologie optického přenosu dat využívají jako páteřní Ethernetové linky, u kterých bezdrátový přenos dat na základě rádiových vln svou datovou propustností vůbec nemůže konkurovat. Nevýhodou je však omezená přenosová vzdálenost a závislost této vzdálenosti na počasí. Maximální přenosové vzdálenosti se pohybují v řádech jednotek kilometrů, avšak za špatného počasí, husté mlhy a podobných nepřízní počasí se maximální vzdálenost zkracuje maximálně na několik stovek metrů. Přibližně lze určit, že za špatného počasí je maximální přenosová vzdálenost trojnásobkem viditelnosti. [20]

Laserové pojítko TereScope 700/G:

Napájení:	230 V _{AC} ,
Přenosová rychlost:	1Gbps full duplex
Rozhraní:	1Gbps Ethernet optické vlákno
Dosah:	při útlumu 30 dB/km je 425 m při útlumu 17 dB/km je 570 m za pěkného počasí maximální dosah až 1100 m



Obr.9. Laserové pojítko TereScope 700/G

2.4.2 WiFi

Problematika WiFi je tak rozsáhlá, že zdaleka přesahuje možnosti této diplomové práce. Existují různé standardy, topologie, metody zabezpečení, šifrování a není možné je v práci všechny popsat. Základní vlastnosti se však dají shrnout následovně. WiFi je založena na standardu IEEE 802.11. Pracuje v nelicencovaném frekvenčním pásmu 2,4 a 5 GHz a přenosové rychlosti se pohybují v řádu jednotek až stovek Mbps. Je vhodná k přenosu velkého množství dat a velice jednoduše se touto metodou dají propojit dvě nebo více zařízení. Nejčastěji se jedná o přístupové body, notebooky, osobní počítače vybavené WiFi kartou, mobilní telefony, televizory a mnohá další zařízení. Typické využití lze nalézt při ožívování automatizovaných výrobních linek nebo testerů, kdy se technik nebo programátor může s notebookem volně pohybovat v okolí takového zařízení, přes notebook může upravovat firmware, přehrávat jej do zařízení a sledovat změny v chování ožívovaného

nebo laděného stroje. V oblasti monitoringu je typickou aplikací přenos obrazu z bezdrátových bezpečnostních kamer. Ty jsou připojeny k bezdrátové síti a jakákoli osoba připojená do této sítě s patřičným oprávněním může sledovat obraz zachytávaný kamerou, případně server může nahrávat a archivovat obraz na velkokapacitní úložiště. [22]

Bezdrátová venkovní kamera SC-IP673:

Napájení:	12 V _{DC} /1 A
Obrazový senzor:	2 MPX CMOS 1/3"
Videokomprese:	H.264/MJPEG
Rozlišení:	2 MPX: 1600 x 1200/15 fps, HD: 1280 x 720/25 fps, QVGA: 800 x 600/25 fps 4CIF: 704 x 576/25 fps, VGA: 640 x 480/25 fps, CIF: 352 x 288/25 fps
IR přisvětlení:	42 ks IR LED s dosvitem 30 metrů
Rozhraní:	10/100 Mbps Ethernet, konektor RJ45, WIFI 802.11b/g 1x audio vstup, 1x audio výstup
Ethernet protokoly:	TCP, UDP, IP, HTTP, FTP, SMTP, DHCP, DNS, ARP, ICMP, POP3, NTP, RTP, RTCP, RTSP, WIFI 802.11b/g
Funkce:	videodetekce pohybu v obraze, alarmové funkce, email
Rozměry:	280 x 110 x 115 mm
Hmotnost:	1,1 kg



Obr.10. Bezdrátová venkovní kamera SC-IP673

2.4.3 Bluetooth

Jedná se o bezdrátovou rádiovou technologii vyvinutou v roce 1994 inženýry ve švédské společnosti Ericson. Je definována standardem IEEE 802.15. Existují tři třídy, do nichž jsou rozděleny zařízení dle maximálního vyzářeného výkonu 1, 2,5 a 100 mW a dosahu 1, 10 a 100 m. Dosah je jen orientační a údaje platí pouze ve volném prostoru. V případě přítomnosti překážek se maximální vzdálenost rychle zkracuje. Mnoho zařízení obsahuje Bluetooth, například notebooky, mobilní telefony, bezdrátová sluchátka, handsfree sady do automobilů, reproduktory, klávesnice, myši, diagnostické jednotky do automobilů, GPS přijímače, tělesné Bluetooth senzory, které během sportovního výkonu předávají informace o tělesné teplotě a tepu sportovce do mobilního telefonu, kde jsou tato data ukládána. V průmyslových aplikacích je Bluetooth využito jako náhrada kabelového vedení komunikačních rozhraní. Například firma Phoenix Contact nabízí celou řadu průmyslových

převodníků UART/Bluetooth, Ethernet/Bluetooth, Modbus/Bluetooth, USB/Bluetooth, převodník digitálních vstupů na Bluetooth a podobně. Otevírají se tak možnosti bezdrátové komunikace dvou zařízení (Point-to-Point). Pomocí převodníků RS-485 lze vytvořit sběrniceový systém nebo síť s jedním master zařízením a maximálně sedmi slave zařízeními. Na trhu také existují kompletní Bluetooth modemy v podobě integrovaných obvodů, obsahující dokonce i integrovanou anténu. Pro správnou funkci stačí přivést napájení a zajistit ovládání TTL UART rozhraním. Lze tedy vyvinout libovolně složité zařízení na bázi monolitického mikropočítače komunikující s jiným zařízením přes Bluetooth. [2][3][4]

Převodník UART/Bluetooth firmy Phoenix Contact PSI-WL-RS232-RS485/BT/2DO:

Napájení:	24 V _{DC} ± 20 %, typický proud menší než 100 mA
Rozhraní:	D-SUB-9 male (RS-232), šroubová svorkovnice (napájení, RS-422, RS-485), mini-USB B, Bluetooth 2.0, MCX anténní zásuvka
Přenosové rychlosti:	1,2; 2,4; 4,8; 7,2; 9,6; 19,2; 31,25; 38,4; 57,6; 75; 93,75; 115,2 kbps
Teplotní rozsah:	provozní: - 20 °C ~ 60 °C skladovací: - 40 °C ~ 85 °C



Obr.11. Phoenix Contact PSI-WL-RS232-RS485/BT/2DO

2.4.4 ZigBee

ZigBee spadá do skupiny malých bezdrátových sítí PAN (Personal Area Networks). Do stejné skupiny patří i technologie Bluetooth, jež však převážně našla uplatnění ve spotřební elektronice. Bluetooth technologie však není zcela ideální pro celou řadu průmyslových aplikací a tento fakt vedl k založení ZigBee aliance, která měla za úkol vytvořit nový bezdrátový komunikační standard také pro účely průmyslové automatizace. Byl vytvořen standard IEEE 802.15.4, který je platný od listopadu roku 2004. Na vývoji tohoto standardu se v současné době podílí přes šedesát nadnárodních společností, mezi nimiž jsou i přední lídři v oblasti průmyslové automatizace. Jedná se o společnosti jako Motorola, Samsung, ABB, Philips, Omron, Siemens nebo Honeywell. ZigBee je jednoduchá flexibilní technologie určená pro výstavbu i rozsáhlejších bezdrátových komunikačních sítí, u kterých nejsou požadavky na přenosy velkých objemů dat. ZigBee pracuje v bezlicenčních frekvenčních

pásmech 868 MHz, 902–928 MHz a 2,4 GHz. Přenosové rychlosti mohou být 20, 40 nebo 250 kbps. V závislosti na lokálních podmínkách přenosu signálu se dosah signálu pohybuje od 10 do 50 metrů. Díky 64 nebo zkrácenému 16-ti bitovému adresování lze v jedné síti provozovat až 65 535 zařízení. Mezi předností ZigBee také patří vysoká spolehlivost přenosu dat, jednoduchá implementace a velice nízká spotřeba energie umožňující dlouhodobý bateriový provoz. Při využití všech úsporných prostředků lze dosáhnout s jednou alkalickou baterií doby výdrže až 2 roky. Hlavní uplatnění se nalézá v průmyslových oblastech a senzorových sítích. Nicméně ZigBee je vhodná pro širokou škálu aplikací, dobře se uplatní téměř ve kterékoli oblasti. Můžeme ji nalézt v oblasti řízení spotřeby energie, automatizaci domů a budov, zdravotnictví, telekomunikaci i ve spotřební elektronice. Příkladem praktického použití technologie ZigBee může být řízení osvětlení a topení, kouřové detektory a detektory plynu, zabezpečení objektů, lékařské snímání a monitorování nebo dálkové ovládání systémů domácí zábavy. Problematika ZigBee standardu je velice obsáhlá a přesahuje možnosti této diplomové práce. Existují různé režimy přenosu dat, lze popisovat strukturu komunikačního standardu a jeho rozdělení do tří základních vrstev – síťové, aplikační a fyzické. Bylo by možno se zabývat problematikou zabezpečení, směrování paketů, komunikačními rámci, topologií sítě a mnoha dalšími vlastnostmi této technologie. [5]

2.4.5 WiMAX

Jedná se o bezdrátovou technologii definovanou standardem IEEE 802.16. Tato technologie je zaměřena na bezdrátový transfer dat ve venkovním prostředí. První verze standardu 802.16 byla vydána v roce 2002. Pracovala na frekvenčních pásmech 10 až 66 GHz a maximální přenosová rychlost byla 134 Mbps a dosah dle specifikace 40 až 70 km. Pro svou funkci však vyžadovala přímou viditelnost. O rok později, v roce 2003, vyšla další verze standardu s označením 802.16a pracující ve frekvenčním pásmu 2 až 11 GHz, přenosová rychlost klesla na 70 Mbps, odpadla ale podmínka přímé viditelnosti dvou stanic. Následovaly další dva standardy 802.16c/d a 802.16e. V historii existovaly pokusy rozšířit tuto technologii, společnost HTC vyvinula první mobilní telefon připojitelný k síti WiMAX a spousta článků prezentovala technologii WiMAX jako velice slibnou k mobilnímu přenosu dat, dokonce se objevovaly názory o nahrazení GSM touto technologií. Nicméně dnes, v roce 2013, není tato technologie rozšířena tak, jak bylo predikováno. [18][19]

piny procesoru je k periférii KBI (Keyboard Interrupt) připojeno pět ovládacích tlačítek a jeden signál, sloužící jako příkaz k odeslání SMS. Teplotní čidlo je připojeno k mikrokontroléru na vstup TPM2 (Timer/Pulse-width Modulation). Tři digitální vstupy a tři výstupy zařízení jsou po ošetření vůči některým vnějším vlivům a po oddělení optočleny připojeny k I/O portům mikroprocesoru. Analogový vstup je po ošetření signálu připojen přes piny mikrokontroléru k periférii ATD (Analog To Digital). Jelikož mnou zvolený procesor neobsahuje periférii umožňující analogový výstup kontroléru, bylo nezbytné realizovat analogový výstup GSM jednotky pomocí externího D/A převodníku. Zvolil jsem D/A převodník s rozhraním SPI (Serial Peripheral Interface), který je připojen k I/O portům mikrokontroléru. Analogový výstup z D/A převodníku je dále patřičně upraven. Pro přehlednost a jednoduchou kontrolu je na každý analogový vstup a výstup připojen malý modulový digitální voltmetr a stav každého digitálního vstupu a výstupu je indikován pomocí LED.

Všechny analogové a digitální vstupy, impuls k odeslání SMS nebo signál teplotního čidla mohou být přivedeny jak externě, tak mohou být simulovány přímo na GSM jednotce v závislosti na volbě umístění zkratovacích propojek. Digitální vstupy mohou být simulovány třemi tlačítky s aretací, analogové signály pak trimry, jako impuls k odeslání SMS může sloužit tlačítko bez aretace a signál z teplotního čidla SMT160 může být opět přiveden externě nebo z integrovaného teplotního čidla. Celé zařízení může být napájeno v rozsahu 17 až 30 V_{DC}. V bloku napájecího zdroje je napájecí napětí ošetřeno proti některým vnějším vlivům a dále jsou vytvořeny tři úrovně napětí 3,3 V, 5 V a 12 V pro napájení jednotlivých, výše popsaných částí GSM jednotky.

3.2 Nastavení jádra a časovače mikrokontroléru

Jelikož zařízení neobsahuje záložní bateriový systém a je napájeno z výkonného externího zdroje, nebylo třeba žádného inteligentního řízení spotřeby, jako je odepínání periférií, snižování taktu mikrokontroléru nebo uvádění mikrokontroléru do uspávacích režimů. Mohl jsem si dovolit nastavit mikrokontrolér na maximální možný výkon. Nastavení taktu mikrokontroléru je realizováno periférií ICG (Internal Clock Generator) obsahující mimo jiné fázový závěs FLL (Frequency Locked Loop). Díky nastavitelným děličkám v obvodu FLL lze vytvořit velké množství různých frekvencí hodinového signálu. Nastavením registrů je do obvodu FLL přiveden hodinový signál pevného interního oscilátoru o frekvenci 243 kHz. Správné nastavení děliček hodinového signálu v obvodu FLL způsobí výsledný efekt vynásobení vstupního signálu 1152 a vydělení 7, tedy $243\,000 \times 1152 / 7 = 39\,990\,857,14$ Hz. Tento hodinový signál je přiveden pouze do jednotky CPU (Central Processor Unit), následuje dělička dvěma snižující frekvenci na polovinu a na této poloviční frekvenci ($39\,990\,857,14 / 2 = 19\,995\,429$ Hz) běží vnitřní systémová sběrnice. Její frekvence se stává zdrojem hodinových pulzů pro všechny periférie. Dle údajů výrobce mikrokontroléru může CPU běžet maximálně na 40 MHz. Po všech výše popsaných nastaveních je CPU taktováno hodinovým signálem o frekvenci 39,99 MHz. Jádro mikrokontroléru i systémová sběrnice jsou tedy vytíženy naplno.

K časování vnitřních dějů v procesoru jsem použil periférii TPM1 (Timer/Pulse-width Modulation). Přerušení od tohoto čítače je vyvoláno každých 5 ms a slouží k měření času pro vnitřní potřeby mikrokontroléru jako například přesné časování blikání kurzoru na displeji při nastavování číslice, měření času stisku posledního ovládacího tlačítka, měření doby setrvání v některé z položek v menu a následný skok zpět na hlavní obrazovku a časování spousty dalších funkcí, které již nejsou

na první pohled tak zřejmé. Jako zdroj hodinového signálu jsem zvolil frekvenci vnitřní sběrnice Bus Rate Clock, v časovači je dále tato frekvence podělena dvěma nastavitelnou děličkou. Hodnota modulo čítače vyšla nejlépe na 49 989. Výpočtem lze ověřit: $49\,989 / (19\,995\,429 / 2) = 0,005\,000\,043$ s. Výsledkem je vyvolání žádosti o přerušení každých 5 ms s více než dostatečnou přesností.

COP (Computer Operating Properly), jak společnost Freescale nazývá funkci Watchdog, jsem nechal vypnutou z důvodu, že se při psaní programu nešlo vyhnout čekání na některé události ve smyčce. Řešením by samozřejmě bylo dát do této smyčky instrukci k resetování čítače Watchdogu, v tom případě však Watchdog postrádá smysl. Kdyby došlo k nekonečnému zacyklení v takovém místě, stejně by byl čítač Watchdogu neustále resetován a k odhalení problému by nedošlo. Problémem, který se mi nepodařilo odhalit, bylo čas od času nenadálé vypnutí GSM modemu bez evidentního důvodu. Při takovém vypnutí modemu docházelo k zacyklení programu při čekání na odpověď, po sériové lince z modemu, a když odpověď po nějakou dobu nepřicházela, došlo k opětovnému zaslání příkazu do modemu a zase čekání na odpověď, která ovšem z vypnutého modemu nemohla přijít. I kdyby bylo během čekání na odpověď detekováno vypnutí modemu, jeho zapnutí a inicializace není úplně jednoduchá. Proto jsem kontrolu zapnutí modemu implementoval do obsluhy přerušování od TPM1, jež nastává co 5 ms, jak bylo popsáno výše. V tom případě, že je v obsluze přerušování detekováno vypnutí GSM modem a přitom příznak ukazuje na to, že by měl být správně zapnut, je okamžitě vyvolán reset celého zařízení. S jinými problémy se zacyklením programu jsem se u finální verze programu nesetkal. [6]

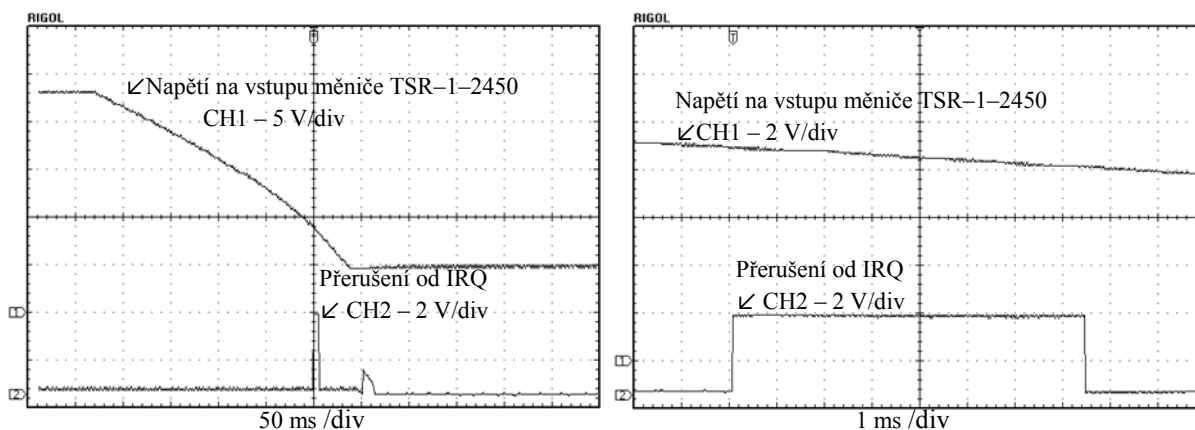
3.3 Blok napájecího zdroje

Zařízení je napájeno stejnosměrným napětím 17 až 30 V. Tuto napájecí hladinu jsem zvolil ze tří důvodů. Prvním z nich je, že práce s nízkým napětím je bezpečnější, než kdyby bylo na desku plošných spojů přivedeno síťové napětí 230 V_{AC}. Druhým důvodem je, že se tak dá vyhnout celé řadě problémů spojených s elektromagnetickou kompatibilitou a také potížím spojených s prohlášením o shodě s nařízením vlády, jelikož do zařízení není přivedeno síťové napájení 230 V_{AC}, a celá řada odpovědností tak přechází na externí síťový napájecí zdroj. A třetím důvodem se stává fakt, že napájecí hladina 24 V se v průmyslové automatizační technice a v rozvaděčích s touto technikou používá častěji než síťové napájení 230 V_{AC}.

GSM jednotka je díky diodě odolná vůči přepólování. V případě přepětí se začne otevírat transil a dojde k propálení pojistky. Dvojitou tlumivkou a elektrolytickými kondenzátory je zajištěna filtrace a odrušení napájení. Následuje DC/DC měnič TSR–1–2450 od společnosti Traco Power, jehož výstupní napětí je konstantní 5 V v rozsahu vstupního napětí 6,5 až 36 V. Maximální výstupní proud z měniče může být maximálně 1 A a pracuje s účinností 84 až 94 % dle napájecího napětí a zatížení. Výkon spotřebovaný GSM jednotkou je díky DC/DC měniči na vstupu téměř konstantní a pohybuje se okolo 0,8 W v závislosti na okamžité funkci jednotky. Odlišný je odebíraný výkon v klidu, jiný při startu zařízení, při příjmu a jiný při odesílání SMS. Při zvyšování napájecího napětí tedy klesá vstupní proud a naopak. V případě použití lineárního stabilizátoru by byl vstupní proud konstantní pro celý rozsah napájecího napětí, a čím vyšší by napájecí napětí bylo, tím větší by byla výkonová ztráta na lineárním stabilizátoru a tím více tepla by lineární stabilizátor produkoval. Napájecí hladina 5 V je

použita pro napájení alfanumerického LCD displeje, GSM modemu a operačních zesilovačů sloužících k úpravě vstupních i výstupních analogových signálů z a do GSM jednotky. Dále je z této 5V napájecí hladiny vytvořena lineárním stabilizátorem LE33CD hladina 3,3 V pro napájení mikrokontroléru a některých jemu přilehlých obvodů. Druhým DC/DC měničem AM1S-0512SZ je z 5V napájecí hladiny vytvořeno galvanicky oddělené napětí 12 V pro napájení modulových voltmetrů.

GSM jednotka je také vybavena hlídáním poklesu nebo výpadku napájecího napětí. Tato ochrana se tvoří napětěvým děličem přímo z ošetřeného napájecího napětí GSM jednotky. Diody slouží k ochraně vstupu hradla – invertoru s hysterezí neboli Schmittova klopného obvodu. Výstup invertoru je přiveden na IRQ (Interrupt Request) vstup mikrokontroléru. Pokud je vše v pořádku a napájecí napětí je dostatečné, na vstupu invertoru s hysterezí je log. 1, na výstupu pak log. 0 a přerušení není vyvoláno. Při poklesu napájecího napětí se sníží napětí i na vstupu hradla a pokud napětí na děliči klesne pod 1V, výstup se překlápí do log. 1 a je vyvoláno přerušení vstupem IRQ. V obsluze pro toto přerušení je urgentně ukončena komunikace mezi kontrolérem a GSM modemem, GSM modem je urgentně vypnut, na LCD displeji je zobrazena hláška informující o nízkém napájecím napětí a proveden programový reset mikroprocesoru. Po resetování mikroprocesoru se uskuteční jeho inicializace včetně povolení přerušení IRQ. Pokud pokles napájení stále trvá, procesor okamžitě přejde do obsluhy přerušení IRQ a ta je opět vykonávána. Když je GSM modem vypnut, vynechá se část kódu k ukončení komunikace a vypnutí modemu a je znovu proveden reset. Takto se procesor resetuje neustále, dokud úplně neztratí napájení nebo dokud nenastane nárůst napájecího napětí nad určitou hodnotu, kdy se výstup invertoru překlápí do log. 0 a program začne běžet od začátku. Důležité je poznamenat, že přerušení vyvolané vstupem IRQ má po resetu a SWI (Software Interrupt) třetí nejvyšší prioritu. To znamená, že při poklesu napájení a potřebě urgentního ukončení komunikace a vypnutí GSM modemu tato obsluha přerušení není rušena jinými žádostmi o přerušení.



Obr.13. Zaznamenané průběhy poklesu napájení a obsluhy přerušení IRQ

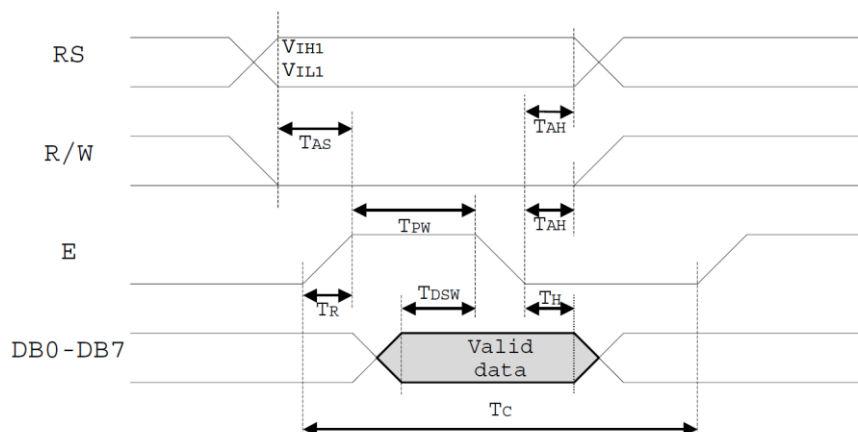
Na osciloskopických záznamech Obr. 13 lze na kanálu CH1 vidět pokles napětí při odpojení zdroje za dvojistou tlumivkou na filtračních elektrolytických kondenzátorech, tedy na vstupu do prvního DC/DC měniče TSR-1-2450. Při poklesu napětí pod 9 V dochází k překlapaní invertoru s hysterezí a je tak vyvoláno přerušení, jehož začátek indikuje rostoucí a konec klesající hrana signálu na kanálu osciloskopu CH2. Z detailního přiblížení můžeme pozorovat, že doba přerušení, tedy vypnutí GSM modemu, trvá 7,5 ms. Na konci přerušení je na vstupu do TSR-1-2450 stále ještě dostatečné napětí 8 V (měnič dokáže pracovat až do vstupního napětí 6,5 V). Nedošlo tedy

k násilnému vypnutí GSM modemu odpojením od zdroje. K překlopení invertoru zpět, tedy k obnovení funkce celého zařízení, dochází až po nárůstu napájecího napětí nad 17 V.

3.4 Alfnumerický LCD displej

Alfanumerický LCD displej je spolu s tlačítky velice důležitým nástrojem při komunikaci uživatele a GSM jednotky a slouží pro vizuální kontrolu nastavovaných parametrů. Zvolil jsem dvouřádkový alfanumerický displej, kde na každém z řádků lze zobrazit až 20 znaků, z nichž je každý tvořen bodovou maticí 5 x 8, tedy dohromady čtyřiceti body. Displej obsahuje integrovaný řadič zajišťující řízení displeje na nejnižší úrovni – přivedením napětí na jednotlivé body natáčí tekuté krystaly v těchto bodech a ty se pak jeví jako viditelné. Displej je napájen 5 V a je k němu připojen napěťový dělič na řízení kontrastu zobrazovaných znaků. S mikrokontrolérem je propojen řadič displeje čtyřbitovou sběrnici, tedy čtyřmi datovými signály DB4 až DB7, a třemi řídicími signály RS, R/W a E. Jelikož jsem zvolil čtyřbitovou komunikaci, datové vstupy řadiče D0 až D3 musí být uzemněny a zápis do registrů musí probíhat ve dvou krocích – nejprve vyšší a poté nižší polovina posílaného osmibitového slova. Signál RS (Registers Select) slouží k volbě, zda bude zapisováno do instrukčních (funkčních), nebo datových registrů. Instrukční registry se využívají k nastavení parametrů displeje jako zapnutí/vypnutí displeje, zapnutí/vypnutí kurzoru, zapnutí/vypnutí blikání kurzoru, k automatickému posunu kurzoru (adresy) po zápisu znaku, k volbě osmi, nebo čtyřbitového rozhraní, k nastavení počtu řádků displeje, zda má displej bodové rozlišení znaku 5 x 8, nebo 5 x 11, k vymazání displeje nebo k adresaci kurzoru pro další zobrazovaný znak. Všechny tyto informace je třeba řadiči při inicializaci sdělit přes zápis do instrukčních registrů, aby věděl k jakému displeji je připojen, jaký displej vlastně řídí a jak bude sám řízen. Po korektní inicializaci se zápisem do datových registrů provádí zobrazování znaků na displej. Co je zapsáno v datových registrech, to je zobrazeno na displeji. Signál R/W informuje řadič, zda se do něj mikrokontrolér chystá zapisovat nebo z něj číst. Datové registry se dají jak vyčítat, tak se do nich může zapisovat, z instrukčních registrů se dá vyčítat pouze aktuální adresa (pozice) kurzoru nebo tzv. Busy Flag informující o připravenosti řadiče k zápisu dalších dat. Signál E (Enable) slouží jako synchronizační signál, kterým začíná čtení nebo zápis dat. Jak bylo řečeno výše, při každém zapnutí displeje je třeba provést jeho inicializaci a zápisem do registru mu říct, jak se má chovat. [16]

Vývojové diagramy na obrázcích Obr.14 a Obr.15 zobrazují postup inicializace displeje a zápis textu na jeden z řádků.



Pro snadné ovládání displeje jsem vytvořil funkci (podprogram) *print_lcd(char line, char char_string[21])*, pomocí níž lze displej korektně inicializovat a vypisovat na něj znaky. Pro inicializaci stačí v programu zavolat tuto funkci a za parametr *line* dosadit hodnotu 0. Inicializace se tedy zavolá *print_lcd(0,0)*. Pro výpis na řádek displeje stačí za parametr *line* dosadit hodnotu 1 nebo 2 (podle toho, na který řádek je žádoucí zapisovat) a za parametr *char_string[21]* (pole znaků) dosadit do dvojitých uvozovek požadovaný text k zobrazení nebo název pole, které daný text obsahuje. Bude však zobrazeno pouze prvních dvacet znaků zadaného textu na řádek nebo prvních dvacet znaků odpovídajících ASCII kódování prvním dvaceti bajtům vloženého pole. Ostatní znaky budou ignorovány.

Příklady zavolání funkce a výpisu na displej:

`print_lcd(2, "Ahoj svete, jak se mas?");` na druhém řádku displeje se zobrazí: **Ahoj svete, jak se m**

Poslední tři znaky „**as?**“ jsou nad rámec dvaceti znaků a budou ignorovány.

nebo:

`print_lcd(1, POLE_ZNAKU1)`; na prvním řádku budou zobrazeny znaky odpovídající podle ASCII kódování prvním dvaceti bajtům v poli `POLE_ZNAKU1`.

3.5 Tlačítka

GSM modem je ovladatelný pomocí pěti tlačítek ve tvaru navigačního kříže. Tlačítka jsou rozmístěna a označena šipkami ve směrech nahoru, dolů, doleva, doprava a potvrzovací tlačítko uprostřed je nazváno „OK“. Tlačítka jsou připojena k portům PTA3 až PTA7, které slouží jako vstupní porty do periferie KBI (Keyboard Interrupt). K nim jsou interně v mikrokontroléru připojeny pull-up rezistory. Ošetření tlačítek proti zákmitům je vyřešeno programově. Každé spínací tlačítko je pak fyzicky připojeno mezi port a zem (napětíovou úroveň 0 V).

Periferie KBI funguje velice podobně jako již výše popsané IRQ přerušení, ale s tím rozdílem, že hrana nebo logická úroveň (citlivost je nastavitelná na rostoucí/klesající hranu, nebo nízkou a vysokou úroveň) kteréhokoli pinu vyvolá skok do přerušení a toto přerušení má nižší prioritu než přerušení vyvolané IRQ vstupem. V přerušení je poté testováno, zda předchozí tlačítko bylo puštěno

minimálně před 50 ms. Pokud se tak nestalo, je stisk ignorován. Pokud však od puštění předchozího tlačítka uběhla delší doba než 50 ms, testuje se, které tlačítko je stisknuto a podle toho se do proměnné *Tact* vloží jedna z hodnot: 'R', 'U', 'C', 'D', 'L' (Right, Up, Center, Down, Left). Po návratu do hlavního programu dochází k testování proměnné *Tact* a podle hodnoty v ní obsažené nastávají příslušné reakce na zmáčknutí některého z tlačítek a vynulování proměnné *Tact*, aby nedocházelo k dalším nechtěným reakcím, které se mají stát až po dalším stisku. V přerušení od časovače TPM1 každých 5 ms je testováno, zda jsou všechna tlačítka puštěna a pokud ano, měří se doba 50 ms a stisk dalšího tlačítka bude akceptován až za tento čas. Jedná se o neochvějnou a naprosto spolehlivou logiku zajišťující ochranu před zákmity tlačítek.

3.6 Teplotní čidlo SMT160

3.6.1 Popis čidla

Jedná se o teplotní čidlo vyvinuté holandskou společností Smartec. K sehnání je hned v několika typech pouzder – SOIC–8, TO18, TO92, T0220. Jde o tří vývodový integrovaný teplotní snímač, jehož výstupní funkcí teploty je střída. Dva vývody jsou použity k napájení stejnosměrným napětím 5 V a třetí výstupní pin nese informaci o teplotě. Výstupní signál je vyhodnotitelný jak mikrokontrolérem, tak po filtraci A/D převodníkem. Výstup snímače umožňuje připojení až do délky kabeláže 20 m. Z toho důvodu je teplotní čidlo SMT160 vhodné pro měření teploty na odlehlých místech. [17]

Nejdůležitější vlastnosti:

Absolutní přesnost: $\pm 0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$

Chyba linearity: $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$

Rozlišitelnost minimálně: $0,005\text{ }^{\circ}\text{C}$

Plně digitálně interpretovatelný signál.

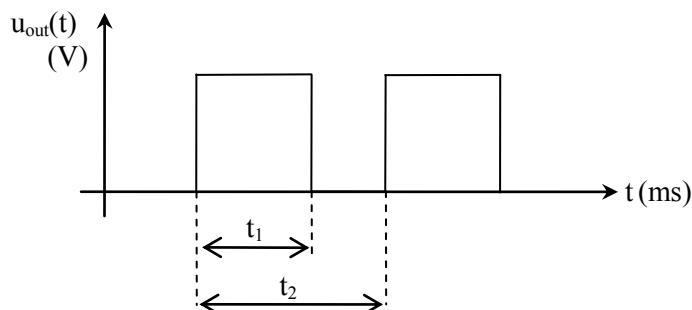
Plně analogově interpretovatelný signál.

Kompatibilní s TTL i CMOS technologií.

Teplotní rozsah: $175\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-45 \sim +130\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Přímo připojitelný k pinu procesoru.

Signály z více čidel lze jednoduše multiplexovat a vyhodnocovat jedním mikrokontrolérem.



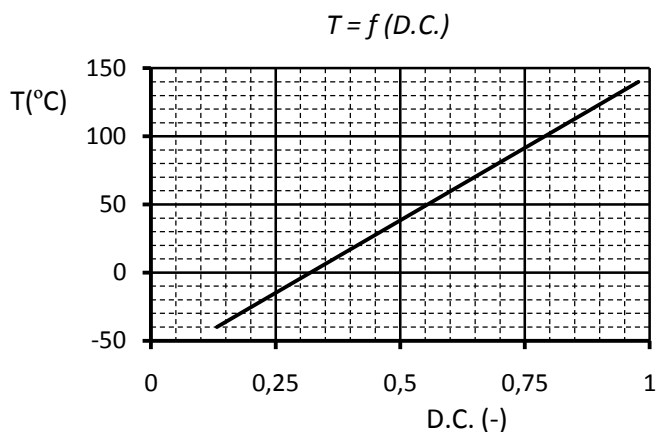
Obr.17. Měření a výpočet střidy

Ze změřených časů t_1 a t_2 lze vypočítat střidu signálu:

$$D.C. = \frac{t_1}{t_2}$$

Ze střidy lze vypočítat teplotu:

$$T = \frac{D.C. - 0,32}{0,0047}$$



Graf $T = f(D.C.)$ zobrazuje závislost střidy výstupního signálu na teplotě.

3.6.2 Obvodové zapojení a měření

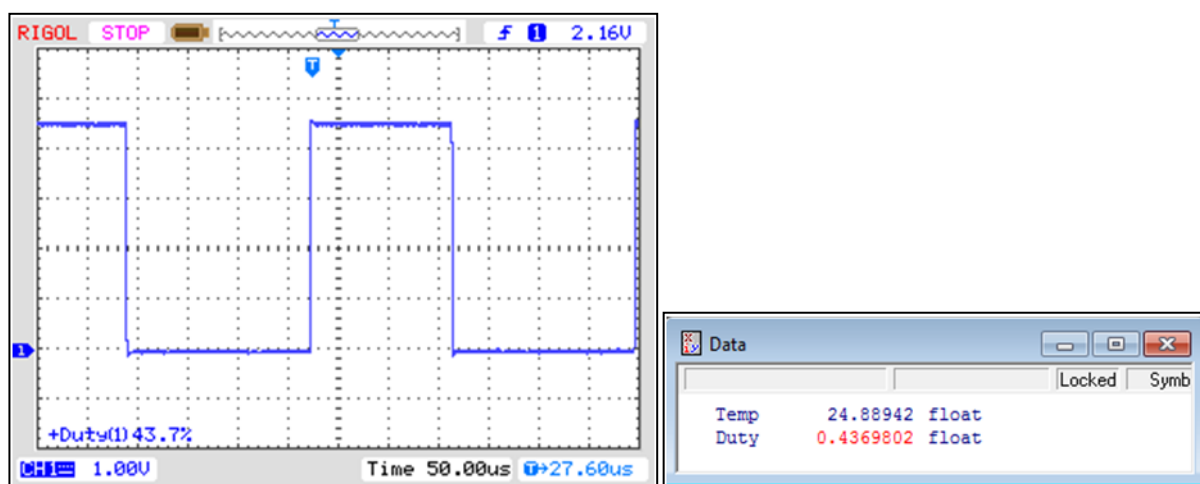
V GSM jednotce je integrováno vlastní teplotní čidlo SMT160, nicméně volbou zkratovací propojky lze zvolit i externí signál z jiného čidla přivedený přes konektor. Sériový odpor spolu s dvojitou diodou zajišťují ochranu vstupu hradla proti napěťovým špičkám, chybě v zapojení konektoru a podobně. Na DPS je signál upraven tvarovacím obvodem skládajícím se ze dvou invertorů s hysterezí a zavedenou kladnou zpětnou vazbou. Tvarovací obvod upravuje strmost nástupné a sestupné hrany, což je důležité hlavně v případě signálu přivedeného z externího teplotního čidla, kde parazitní kapacity a indukčnosti kabelového vedení způsobují snížení strmostí hran signálu. Signál je po všech těchto úpravách připraven k samotnému měření a je tedy přiveden na port mikrokontroléru PTD3, který slouží jako vstupní pin periferie TPM2.

Pro měření střidy signálu je nejvhodnější zvolit periferii mikropočítače TPM2 v režimu Input Capture. Princip měření je následující. Čítač je inkrementován pulzy systémové sběrnice a v momentu nástupné nebo sestupné hrany měřeného signálu je vyvolána žádost o přerušení. V přerušení je okamžitá hodnota v čítači uložena do registru TPM2C0V a čítač je začíná čítat od nuly až do další změny úrovně vstupního signálu, neboli do dalšího přerušení. Prakticky se měří počet hodinových pulzů systémové sběrnice mezi dvěma změnami úrovně měřeného signálu. Vždy v okamžiku přerušení je k dispozici hodnota počtu pulzů, které byly načteny od předchozího přerušení, a je zřejmé, že tato hodnota je přímo úměrná času trvání signálu v úrovni „High“ nebo „Low“ a že z poměru těchto hodnot lze jednoduše vypočítat střidu signálu a následně i teplotu. V obsluze přerušení je z nastavení registrů zjištěno, jaké byly nastaveny citlivosti na hrany, zda se jedná o citlivost na rostoucí nebo

klesající, zda změřená hodnota odpovídá signálu v úrovni „High“ nebo „Low“ a podle toho je z registru TPM2COV zkopírována hodnota do proměnné *TempCountH* nebo *TempCountL*. V hlavní smyčce jsou pak přičítány hodnoty *TempCountH* a *TempCountL* do jiných proměnných. Je vždy sečteno 1000 hodnot *TempCountH* a 1000 hodnot *TempCountL*, tím je zajištěno zprůměrování naměřených hodnot. Doba trvání hlavní smyčky je v každém případě delší než nejdelší možná perioda měřeného signálu, proto lze bezpečně říct, že nikdy nedochází k vícenásobnému přičítání stejných hodnot z *TempCountH* a *TempCountL*, ale vždy v době provádění součtu jsou hodnoty v těchto proměnných aktualizovány. Následně je proveden výpočet střidy a teploty dle vzorce udaného výrobcem.

$$T = \frac{D.C. - 0,32}{0,0047}$$

Hodinové pulzy pro čítač lze zvolit z několika zdrojů. Pro nejpresnější měření je vhodné zvolit co nejrychlejší zdroj a co nejmenší děličku, aby čítač čítal co nejrychleji. Při pěti hodinových pulzech na periodu měřeného signálu toho moc naměřit nelze. Zatímco již z několika desítek tisíc hodinových pulzů na periodu signálu, navíc když víme, kolik z nich bylo v úrovni log. 1 a kolik v log. 0, se dá střída signálu spočítat dostatečně přesně. Zároveň je třeba ohlídat přetečení čítače, než nastane záchyt hrany vstupního signálu. Kdyby byl hodinový signál příliš rychlý a docházelo by k přetečení čítače během dvou změn logické úrovně měřeného signálu, je zřejmé, že by šlo o nekorektní měření. Proto je důležité ověřit, zda při použitém nastavení k tomuto přetečení nemůže dojít. Pro účely měření jsem zvolil nejrychlejší možný zdroj hodinového signálu čítače Bus Rate Clock (hodinový signál vnitřní sběrnice) o frekvenci 19,995 429 MHz a děličku nastavenou na 1. Doba inkrementace čítače je tedy $1/19\,995\,429 = 50\text{ ns}$. Registr čítače je 16-ti bitový, což znamená, že doba načítání od nuly do přetečení je $50\text{ ns} \times 2^{16} = 3,277\text{ ms}$. Při nejpomalejší možné frekvenci signálu z teplotního čidla 1 kHz, tzn. nejdelší možné periodě 1 ms, je tato podmínka evidentně splněna. Detekce odpojeného nebo nefunkčního čidla je prováděna právě na základě přetečení čítače a vyvoláním přerušování od přetečení čítače, kdyby po dobu načítání nedošlo k překlopení logické úrovně na vstupním pinu.



Obr.18. Porovnání naměřené a vypočtené hodnoty

Obrázek Obr.18. zobrazuje osciloskopický záznam signálu teplotního čidla s měřením střidy a výpis z registrů mikrokontroléru. Je dokázána správnost a přesnost měřícího algoritmu.

3.7 Digitální vstupy

GSM jednotka obsahuje tři digitální vstupy a jeden vstup sloužící jako impuls k odeslání SMS. Volbou zkratovací propojky může uživatel zvolit, zda bude každý jednotlivý signál přiveden externě přes konektor, nebo zda budou digitální vstupy simulovány stisknutým tlačítkem s aretací. V případě tlačítka pro odeslání SMS se jedná o tlačítko bez aretace. Všechny digitální vstupy jsou navrženy pro spínání úrovní 24 V, nicméně při pokojové teplotě spolehlivě spínají už od 4 V. V případě snížení teploty se vlivem snížení parametru optočlenu CTR může tato hranice zvyšovat. Horní hranicí na digitálních vstupech je napětí 30 V, kdy při dalším zvýšení napětí by už došlo k odpálení transilů jako přepětových ochran, pouze ale pro nízkoenergetické přepětové špičky. Následuje sériové řazení dvou odporů a LED diody v optočlenu. Odporů bylo nutné zvolit dva zapojené v sérii z důvodu velké výkonové ztráty. Jako optočlenu jsem použil součástku PC354. Ta obsahuje dvě antiparalelně zapojené infračervené LED diody. Z toho důvodu nezáleží na polarizaci připojeného externího signálu. Na vstupy hradel jsou napojeny pull-up odpory tak, aby byla za normální situace na výstupu každého hradla úroveň log. 0. Sepnutý fototranzistor nebo stisknuté tlačítko podle volby zkratovací propojky natvrdo stahuje vstup hradla k úrovni log. 0 a na výstupu hradla je log. 1. Výstupy hradel, invertorů s hysterezí, jsou připojeny přímo na I/O porty mikrokontroléru a stav je indikován LED diodami s předřazenými odpory.

Lehce odlišná situace je u vstupu sloužícího jako signál k odeslání SMS, kde výstup hradla není připojen ke standardnímu I/O portu, ale k periférii KBI. Bylo to již zmíněno v kapitole o ovládacích tlačítkách, kde byly popisovány interně připojené pull-up odpory a stiskem tlačítka neboli sestupnou hranou na pinu bylo vyvoláno přerušení. Je tedy nezbytné, aby za normálních okolností na výstupu hradla byla úroveň log. 1 a mikrokontrolér zareagoval až v případě poklesu do úrovně log. 0, stejně jako když je stisknuto některé z ovládacích tlačítek. Na vstupu hradla je proto zapojen pull-down odpor, aby výstup hradla byl za normálního stavu v log. 1. Bipolární tranzistor v optočlenu nebo tlačítko v tomto případě natvrdo připojují vstup hradla k úrovni log. 1. Výstup hradla klesne do úrovně log. 0, tím je vyvoláno přerušení od periferie KBI, kde je nastaven příznak a po návratu do hlavní smyčky je provedeno odeslání SMS. Programově je zajištěno odeslání maximálně jedné SMS zprávy během pěti minut, aby nedocházelo k nežádoucímu vícenásobnému zasílání SMS zpráv. Po příchodu pulzu – signálu k odeslání SMS zpráv jsou další pulzy ignorovány a akceptován bude až pulz po uplynutí doby pěti minut.

Jmenovité izolační napětí optočlenu PC354 je dle výrobce 3,75 kV, nicméně tomu není přizpůsoben návrh plošného spoje, kde nejsou dodrženy potřebné izolační vzdálenosti. Galvanicky oddělené digitální vstupy jsem volil z důvodu vzájemného galvanického oddělení a oddělení od samotného zařízení z důvodu zabránění uzavírání zemních proudů přes DPS nebo možnému uzavírání proudů přes celou DPS až do napájení GSM jednotky.

3.8 Digitální výstupy

U digitálních výstupů je situace podstatně jednodušší. GSM jednotka disponuje třemi galvanicky oddělenými digitálními výstupy. Zde je jako optočlen použit CPC1009N. Anoda LED diody optočlenu je přes rezistor připojena k napěťové hladině 3,3V. Katoda té samé led diody je propojena přímo s I/O pinem procesoru. Naprosto totožně je zapojena klasická indikační LED pro jednoduchou kontrolu stavu každého digitálního výstupu. Spínací součástkou v optočlenu je v tomto případě dvojice mosfet tranzistorů s indukovaným N kanálem. Tranzistory jsou zapojeny antisériově – elektrody Source a Ggate mají vzájemně propojeny a obě Drain elektrody z každého tranzistoru jsou vyvedeny ven. Pokud dioda v optočlenu svítí a tranzistory jsou sepnuty, nezáleží na směru proudu protékajícím tranzistory. Důležité je upozornit, že digitální výstupy nejsou zkratuvzdorné. Maximální proud, který mohou mosfet tranzistory v optočlenu spínat je $150\text{ mA}_{\text{RMS}}$, nebo $150\text{ mA}_{\text{DC}}$, špičkově pak i 350 mA po dobu maximálně 10 ms. 150 mA není mnoho, ale například na sepnutí i výkonového relé bohatě stačí. Odpor mosfet tranzistorů v sepnutém stavu je dle výrobce typicky 5Ω a maximálně 8Ω . Prosakující proud v rozepnutém stavu je pak zanedbatelných $I_{\text{LEAK}} = 20\text{ nA}$. Proti vnějším nízkoenergetickým napěťovým špičkám generovaným například rozpojením indukční zátěže (např. spínací cívky relé), jsou mosfet tranzistory v optočlenu chráněny transilem. U optočlenu CPC1009N sice je jmenovité izolační napětí vstupu a výstupu $1500\text{ V}_{\text{RMS}}$, avšak platí stejná věc jako v případě digitálních vstupů, a sice že návrh DPS takto vysoké rozdíly vstupního potenciálu neumožňuje. Velikost izolačního napětí je limitována izolačními vzdálenostmi vodivých cest na DPS a jedná se maximálně o izolační napětí několika desítek voltů. Optočleny mají v tomto případě provést galvanické oddělení, aby nedocházelo k uzavírání zemních proudů jednotlivých výstupů přes DPS, nebo v horším případě přes celou elektroniku až do napájení samotné GSM jednotky.

3.9 Analogové vstupy

Mnou vyvinutá GSM jednotka má dva analogové vstupy se vstupním rozsahem 0 až 5 V. U analogových signálů je realizace galvanického oddělení o několik řádů složitější, než u signálů digitálních. Z toho důvodu jsem galvanické oddělení analogových vstupních i výstupních signálů nerealizoval. Jak bylo řečeno v úvodním stručném popisu celého zařízení, u analogových vstupů lze zkratovací propojkou zvolit zdroj analogové hodnoty. V závislosti na poloze zkratovací propojky může být přivedena analogová hodnota z externího zdroje přes konektor nebo může být simulována trimrem zapojeným jako odporový dělič. Pro jednoduchou kontrolu a přehlednost jsou obě vstupní analogová napětí měřena modulovými voltmetry umístěnými v levé části zařízení. Následuje odporový dělič, jehož součástí je i dvojitá dioda jako ochrana proti přepětí a trimr pro jemnou kalibraci. Následuje operační zesilovač v zapojení napěťového sledovače s lehce zatíženým výstupem odporem o hodnotě $4,7\text{ k}\Omega$. Operační zesilovač je napájen nesymetrickým napájením 5 V. Rozsah napětí na neinvertujícím vstupu se může pohybovat od 0 do 3,3 V, a jelikož se jedná o zapojení sledovače, totožné napětí bude i na výstupu OZ. Nejdůležitějšími kritérii při výběru operačního zesilovače bylo nízké napájecí napětí, a aby OZ byl rail-to-rail input/output. Oba kanály jsou zapojeny naprosto totožně a oba upravené signály jsou přivedeny na piny procesoru. Piny jsou nakonfigurovány jako vstupy periferie ATD (Analog To Digital). Periferie ATD obsahuje jeden A/D převodník a multiplexor, jímž přepíná jednotlivé kanály na vstupy A/D převodníku. V hlavní smyčce je testován

příznak dokončení převodu. Pokud je nastaven, je z nastavení registru zjištěno, který kanál se měřil a naměřená hodnota je uložena. Dále je provedena změna nastavení multiplexoru na druhý kanál a zahájení nového převodu. Přepočet a normování naměřené hodnoty na velikost skutečného vstupujícího analogového napětí do GSM jednotky je proveden až při zobrazování analogových hodnot na displeji nebo při odesílání SMS, aby nedocházelo ke zbytečným výpočtům v hlavní smyčce.

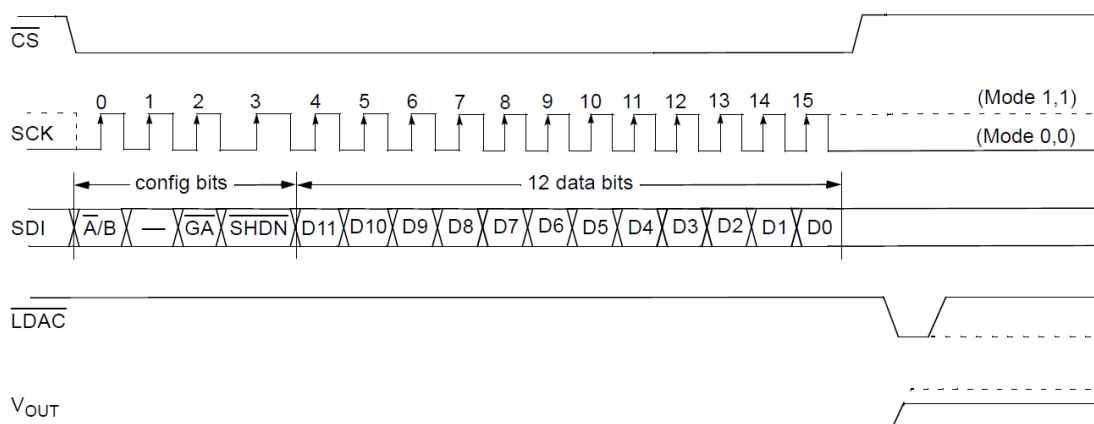
3.10 Analogové výstupy

3.10.1 Koncepce analogového výstupu

Jelikož řídící mikrokontrolér celého zařízení neobsahuje periférii umožňující analogový výstup, bylo třeba použít externího D/A převodníku. Uvést, že řídící mikrokontrolér neobsahuje D/A převodník, by bylo poněkud nepřesné, jelikož D/A převodník je obsažen ve zpětné vazbě A/D kompenzačního převodníku s postupnou aproximací v periférii ATD. Zvolil jsem D/A převodník MCP4822 společnosti Microchip. Jedná se o dvoukanalový, 12–ti bitový D/A převodník s integrovanou napěťovou referencí 2,048 V, s rozsahem napájecího nesymetrického napětí 2,7 až 5,5 V, s komunikačním rozhraním SPI (Serial Peripheral Interface) a jedním synchronizačním vstupním signálem LDAC (Latch DAC). Díky integrovanému zdroji referenčního napětí stačí pro plnohodnotnou funkci MCP4822 přivést napájení a korektně řídit chod SPI komunikačního rozhraní a LDAC synchronizačního signálu. D/A převodník je napájen napětím 3,3 V, signál LDAC a komunikační signály SPI rozhraní, tedy signály CS (Chip Select), SCK (Serial Clock) a SDI (System Data Input), jsou připojeny k I/O pinům mikrokontroléru. Pro konkrétní potřebu analogového výstupu stačí LDAC signál trvale uzemnit, nicméně tento signál je přiveden na I/O pin procesoru, který je trvale nastaven do hodnoty log. 0. I když mnou zvolený mikrokontrolér obsahuje periférii SPI, nezdarý při používání této periférie mě vedly k vytvoření emulovaného komunikačního rozhraní SPI pomocí klasických I/O pinů mikrokontroléru. Piny jsou programově ovládány tak, aby bylo realizováno věrné napodobení chování periférie SPI. Oba dva výstupní analogové kanály z převodníku jsou upraveny naprosto totožně, a sice neinvertujícím zesilovačem s nastavitelným zesílením. Napětí z výstupů neinvertujících zesilovačů je měřeno modulovými voltmetry umístěnými v pravé části GSM jednotky a dále je ze zařízení vyvedeno přes výstupní konektor. Operační zesilovače jsou napájeny nesymetrickým napětím 5 V, požadavek na analogový výstup byl rozsah 0 až 5 V. Z toho důvodu jsou požadavky na OZ totožné jako v případě OZ použitých při úpravě analogových vstupů, tedy nízké napájecí napětí a rail-to-rail input/output. Jelikož byly na OZ stejné požadavky, a to jak při úpravě vstupního analogového signálu, tak při úpravě výstupního analogového signálu, jsou všechny OZ stejného typu. [12]

3.10.2 SPI komunikační rozhraní

V tomto případě se jedná o 16–ti bitové synchronní sériové rozhraní. Signál CS (Chip Select) umožňuje paralelní propojování signálů SDI (Serial Data Input) a SCK (Serial Clock) několika samostatných D/A převodníků. Ke každému musí být přiveden samostatný signál CS. Právě signálem CS je u každého jednotlivého převodníku řečeno, zda jsou následující data určena pro něj nebo má data ignorovat. Signál SCK obsahuje posloupnost šestnácti logických úrovní log. 0 a log. 1 a každý člen posloupnosti je potvrzen synchronizačním pulzem signálu SCK s citlivostí na nástupnou hranu.



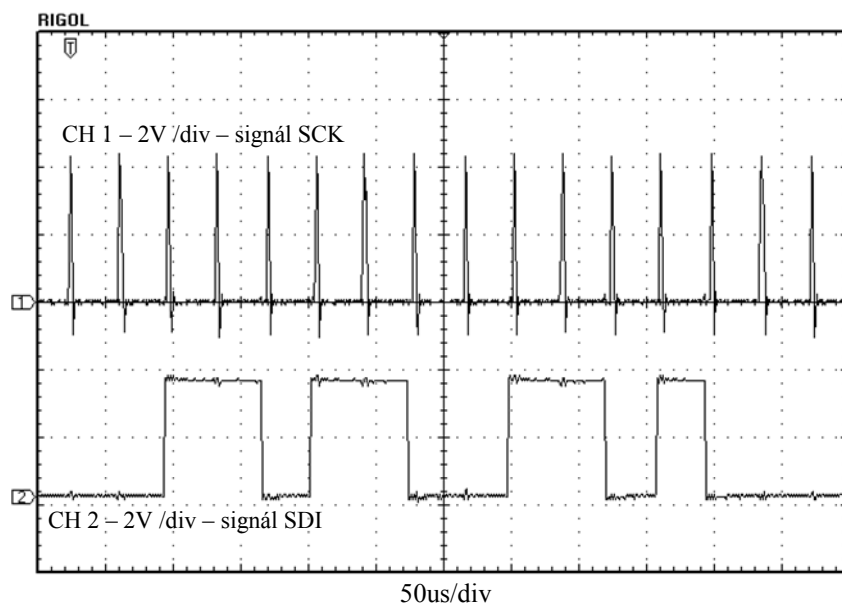
Obr.19. Signály komunikačního rozhraní SPI

První čtyři přenesené nejvyšší bity slouží ke konfiguraci A/D převodníku. Konfiguračním bitem A/B probíhá volba kanálu, do kterého budou zapsána data, druhý konfigurační bit nemá žádný význam, bitem GA je provedena volba zesílení, bitem SHDN povolení nebo zakázání (stav vysoké impedance) analogového výstupu převodníku. Pak následuje dvanáct datových bitů. Po přenesení celého 16-ti bitového slova může být analogový výstup synchronizován signálem LDAC. Je-li na vstup LDAC trvale přivedena úroveň log. 0, je změna analogového výstupu synchronizována s rostoucí hranou signálu CS. Výstupní napětí z D/A převodníku je dáno:

$$U_{OUT} = \frac{V_{REF} \cdot D}{2^{12}}$$

V_{REF} je interní referenční napětí převodníku 2,048 V a D je vstupní dvanáctibitová hodnota, tedy v rozsahu 0 až 4096. Vliv LSB (Least Significant Bit), nejméně významného bitu je pak $V_{REF} / 2^{12} = 0,5 \text{ mV}$. [12]

Pro snadné ovládání D/A převodníku jsem vytvořil funkci (podprogram) `DAC_SPI(char DACchanal, int DACvalue)`, kde je možno za první parametr `DACchanal` vložit 0 nebo 1 pro volbu kanálu a za parametr `DACvalue` vložit hodnotu v rozsahu 0 až 4096. Tato funkce realizuje emulovanou periférii SPI, je v ní řešeno posílání 16-ti bitového slova do D/A.



Obr.20. Osciloskopický záznam průběhu signálů SCK a SDI

Na Obr. 20 je osciloskopický záznam reálných signálů SCK a SDI z mikrokontroléru do D/A převodníku. Na první pohled se může zdát, že se některé pulzy signálu SCK překrývají s nástupnými hranami signálu SDI. Je však důležité si uvědomit, že rozsah časové základny je 50 us/div. Pro korektní příjem dat D/A převodníkem dostačuje, když je korektní logická úroveň SDI několik, maximálně pár desítek nanosekund před příchodem nástupné hrany signálu SCK.

3.11 Digitální modulové voltmetry

Umístění digitálních modulových panelových voltmetrů do GSM modemu jsem zvolil z důvodu jednoduché kontroly a přehledu o stavu analogových vstupů a výstupů. Jedná se o tři a půl místné digitální voltmetry s nastavitelným rozsahem 200 mV až 500 V a relativní přesností 0,5 %. Voltmetry pro svou korektní funkci potřebují galvanicky oddělené napájecí od měřeného napětí o velikosti 8 až 12 V. Napájecí napětí 12 V pro tyto voltmetry vyrábí zvyšující oddělující DC/DC měnič AM1S-0512SZ z 5V napěťové hladiny. Rozsah voltmetrů je nastavitelný propájením zkratovacích propojek a změnou odporů. Pro mnou potřebný měřicí rozsah 20 V bylo třeba propájet zkratovací propojku J2, určující polohu desetinné tečky na displeji, a připojit odpory $R_A = 100 \text{ k}\Omega$ a $R_B = 9,9 \text{ M}\Omega$. Dva voltmetry v levé části měří napětí dvou analogových vstupů a dva voltmetry umístěné vpravo měří napětí dvou analogových výstupů.

3.12 GSM modem Quectel M75, R2.0

3.12.1 Vlastnosti a funkce

Jedná se o jednu z nejdůležitějších částí GSM komunikační jednotky, jelikož právě GSM modem zajišťuje komunikaci s okolním světem přes SMS zprávy, případně prozvánění. Z důvodu

ceny a velice efektivní aplikovatelnosti jsem zvolil modem společnosti Quectel, model M75, verze R2.0.

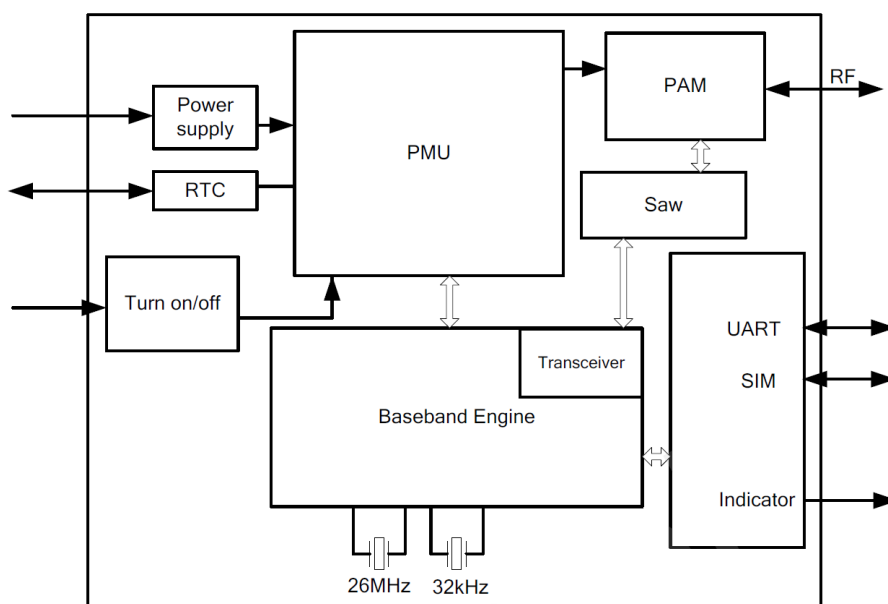
Jedná se o modem v podobě integrovaného obvodu, který se nachází na malé DPS o rozměrech 27,5 x 24. Na DPS je realizován samotný GSM modem, chráněný a odstíněný plechovým krytem. K propojení s ovládací DPS slouží prokovené otvory, jejichž osa tvořila hranu frézy při finálním obrábění DPS. Vznikly tak půlkulaté prokovené drážky na hranách DPS modemu sloužící k vodivému propájení s cílovou aplikací. Model M75 pracuje ve frekvenčním pásmu GSM900 a DCS1800 a podporuje pouze SMS služby. [13]



Obr.21. GSM modem Quectel M75

Technické parametry modemu Quectel M75:

Napájecí napětí:	3,3–4,6 V _{DC} , typicky 4 V _{DC}
Frekvenční pásma:	Dual-band: GSM900, DCS1800 – automatické vyhledávání kmitočtového pásma – kmitočtové pásmo může být zvoleno pevně AT-příkazem – kompatibilní s GSM Phase 2/2+
Vysílací výkon:	Class 4 (2 W) – GSM900 Class 1 (1 W) – DCS1800
Teplotní rozsah:	provozní: – 35 °C ~ + 75 °C omezený: – 40 °C ~ – 35 °C a 75 °C ~ 80 °C skladovací: – 45 °C ~ + 85 °C
Služby:	SMS (MT, MO, CB, Textový a PDU režim)
SIM rozhraní:	1,8 a 3 V
UART rozhraní:	ovládání AT příkazy aut. nas. komunikační rychlosti: 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200 bps. man. nas. komunikační rychlosti: 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600, 4400, 19200, 28800, 38400, 57600, 115200 bps.
Rozměry:	27,5 x 24 x 3,6 mm
Hmotnost:	5 g



Obr.22. Vnitřní blokové schéma GSM modemu Quectel M75

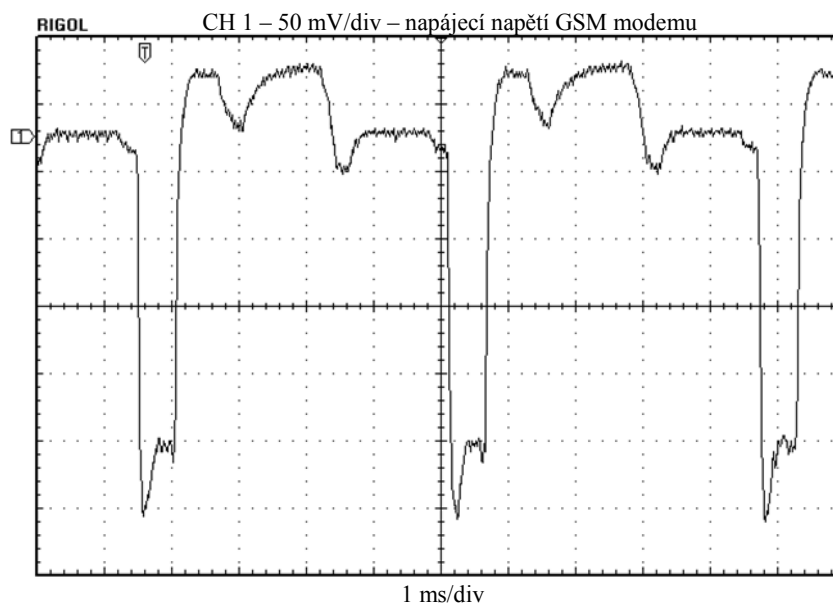
Obrázek znázorňuje blokové schéma modemu M75. Naprosto nezbytné je připojení napájení a ovládacího signálu umožňujícího zapnutí GSM modemu. Jinak, než pomocí tohoto signálu, nelze modem zapnout. Připojení napájení znázorňuje šipka vstupující do bloku Power supply. Řešení napájení je poměrně složité a bude mu věnována pozornost později. Obousměrná šipka vstupující do bloku RTC (Real Time Clock) znázorňuje záložní napájení RTC obvodu a také nabíjení záložního zdroje během normálního provozu. Záložní napájení RTC je pouze volitelné a v mnou vyvíjeném zařízení nebylo aplikováno, jelikož nebylo potřeba. Nicméně záložní zdroj lze realizovat klasickou alkalickou 3V baterií připojenou přes diodu, aby nedocházelo k jejímu nežádoucímu nabíjení v případě normálního provozu. Další možností záložního napájení RTC obvodu je přímé připojení 3V nabíjecí baterie nebo zálohovacího superkapacitoru o nominálním napětí 3,3 V a kapacitě řádově desítek milifaradů. Pro příjem signálu a možnosti odesílat nebo přijímat SMS je nezbytné připojení RF (Radio Frequency) antény. RF rozhraní má impedanci 50 Ω . Pro připojení antény k zařízení slouží SMA koaxiální konektor, který jsem z důvodu minimalizace ztrát na vedení situoval na DPS co nejblíže samotnému anténnímu výstupu z GSM modemu. Ovládání GSM modemu je realizováno pomocí AT příkazů přes UART rozhraní v úrovních TTL. Signály Rx a Tx GSM modemu jsou propojeny s periferií SCI mikrokontroléru. Pro využívání služeb operátorů musí být ke GSM modemu připojena SIM karta daného operátora. Propojení musí být realizováno přes držák SIM karty. SIM karta prakticky obsahuje mikrokontrolér, který je napájen z GSM modemu a také s ním komunikuje. Napájení SIM karty zajišťují dva signály SIM_GND a SIM_VDD. Úroveň napájení závisí na typu SIM karty a je GSM modemem detekována automaticky. Napájecí úroveň může být 1,8 V \pm 10 %, nebo 3 V \pm 10 %. Pro komunikaci mezi SIM kartou a GSM modemem slouží tři signály SIM_DATA, SIM_CLK a SIM_RST. Jak názvy signálů napovídají, bude se jednat o některý typ synchronní sériové komunikace podobný již výše popisovanému SPI rozhraní. GSM modem má dva indikační výstupy zobrazující jeho aktuální stav. Jeden výstup indikuje, zda je GSM modem zapnut a druhý výstup indikuje stav jeho připojení k síti. Oba indikační výstupy ovládají dvě LED diody. Pokud je GSM modem zapnut, jedna LED svítí neustále. Pokud je modem připojen a synchronizován se sítí, pak

druhá LED krátce blikne jednou za 2000 ms, a pokud ještě k připojení a synchronizaci nedošlo, LED krátce blikne jednou za 800 ms.

M75 podporuje různé režimy provozu a různá omezení funkcionality z důvodu úspory elektrické energie v případě napájení z bateriového zdroje. Jak ale bylo popsáno výše, celé zařízení je konstruováno pro napájení z výkonného externího zdroje a není tedy potřeba zavádět nějaká úsporná opatření. [13]

3.12.2 Napájení GSM modemu

GSM modem je napájen stejnosměrným napětím v rozsahu 3,3 až 4,6 V. Taková napájecí hladina se v celém zařízení nikde nevyskytuje. Jako nejrozzumnější řešení se mi jevilo realizovat napájení z 5V napájecí hladiny přes klasickou usměrňovací diodu. Na diodě tak vznikne poměrně konstantní úbytek napětí. Změřené napájecí napětí GSM modemu je 4,25 V, což odpovídá předepsaným parametrům. Co se týká proudového odběru GSM modemu, je v normálním režimu relativně zanedbatelný, jedná se maximálně o několik desítek miliampér. Problém nastává při vysílání GSM modemu, kdy může docházet ke špičkovým odběrům až 1,6 A po dobu 577 μ s a s periodou 4,16 ms. Během těchto pulzních odběrů proudu nesmí docházet k přílišným výkyvům napájecího napětí. Maximální dovolený rozkmit v tomto režimu je dle výrobce 400 mV. Z důvodu pokrytí proudových špiček a zamezení napětíovým výkyvům je za diodou umístěn kvalitní tantalový kondenzátor o hodnotě 100 μ F s nízkým parametrem ESR (Equivalent Series Resistance) a těsně u pinu GSM modemu se nachází keramický kondenzátor o hodnotě 100 nF.



Obr.23. Osciloskopický záznam - zvlnění napájecího napětí GSM modemu

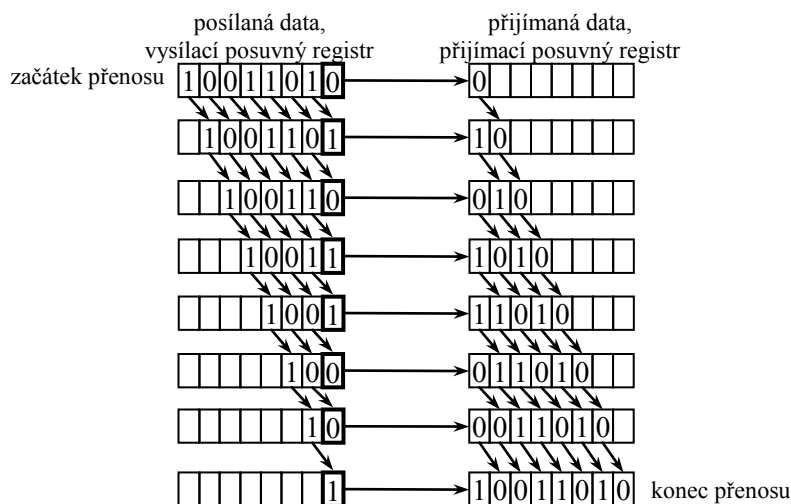
Jak je vidět z osciloskopického záznamu, kmitání napájení GSM modemu je během pulzních odběrů značné. Rozkmit napětí však nepřesahuje předepsanou hranici 400 mV a GSM modem funguje bez problémů. V příštích verzích osazu DPS GSM jednotky by bylo vhodné zvýšit kapacitu tantalového kondenzátoru, případně zvětšit počet kondenzátorů a ještě tak zefektivnit filtraci a snížit kmitání napájení GSM modemu.

3.12.3 Ovládání GSM modemu, UART, AT příkazy

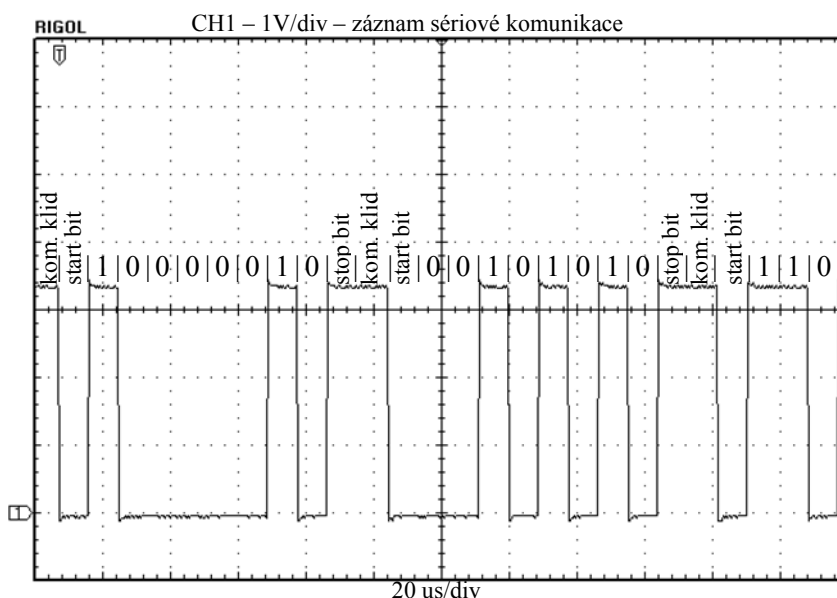
Jak již bylo popsáno výše, GSM modem je ovládán přes UART rozhraní v úrovních TTL přes AT příkazy. Na následujících řádcích budou tyto pojmy vysvětleny a budou uvedeny praktické příklady.

UART (Universal Asynchronous receiver/transmitter) je označení pro obecné sériové asynchronní komunikační rozhraní. GSM modem s mikrokontrolérem spolu komunikují přes UART, ale v napětových úrovních TTL, kde jsou hodnoty log. 0 a log. 1 interpretovány stejně jako v TTL logice. Mezi nejznámější standardy UART patří RS-232, RS-485 a RS-422, jejichž hlavní rozdíly spočívají v různé interpretaci logických úrovní. Zatímco u RS-232 jsou logické úrovně definovány napětovou úrovní vůči zemi, která se může pohybovat v rozmezí ± 15 V, u RS-485 a RS-422 jsou logické úrovně vymezeny na základě diferenčního napětí dvou signálů, kde také díky použití kroucených vodičů vzniká daleko větší odolnost vůči souhlasnému rušení.

Vysílací zařízení posílá na výstupním vysílacím pinu TxD nebo Tx (Transmit Data) posloupnost (sekvenci) logických úrovní log. 0 a log. 1. Tato posloupnost je přijímaná druhým zařízením přes pin RxD nebo Rx (Received Data). GSM modem i mikrokontrolér dokážou jak data vysílat, tak data přijímat, obsahují tedy jak vysílací Tx pin, tak přijímací Rx pin. Aby jedno zařízení slyšelo, co vysílá druhé, je nezbytné tyto signály propojit do kříže (Rx jednoho na Tx druhého zařízení a naopak). Při vysílání posloupnosti logických úrovní o určité rychlosti musí být přijímací zařízení připraveno touto rychlostí přijímat. Musí tedy být v obou zařízeních nastavena stejná komunikační rychlost (Baud Rate), která je udávána v jednotkách Baud (Bd), nebo také bit/s, případně bps. Jeden baud (Bd) odpovídá rychlosti jednoho bitu za sekundu (bit/s, bps), což je však pro praktický přenos velice malá hodnota. Prakticky se používají rychlosti řádově v jednotkách až stovkách kBd (kbit/s, kbps). V klidovém stavu jsou na vodičích úrovně log. 1. Začátek přenosu osmibitového slova je synchronizován start bitem o hodnotě log. 0 a konec přenosu stop bitem o hodnotě log. 1. Důležité je také upozornit, že jednotlivé bity jsou posílány od nejnižšího po nejvyšší, a to proto, že výstupy vysílačů a vstupy přijímačů jsou řešeny jako posuvné registry. Vše názorně zobrazuje následující obrázek Obr. 24, kde nejnižší bit posílaných dat je odeslán jako první a poté přijat na místo nejvyššího bitu v registru, s každým přijatým bitem však dochází k posunování a po odeslání všech osmi bitů je v registru přijatých dat stejné bitové číslo, jako bylo původně v registru s daty odesílanými.



Obr.24. Posuny dat v registrech během sériového přenosu



Obr.25. Osciloskopický záznam reálného sériového přenosu

Obr. 25 zobrazuje část zachyceného průběhu komunikace mezi mikrokontrolérem a GSM modemem. Nejprve z tohoto záznamu zkusíme odhadnout nastavenou komunikační rychlost. Jelikož start, stop bity trvají dobu jednoho bitu, přibližně stejně dlouhá je také oblast komunikačního klidu, můžeme usoudit, že během celého zobrazeného záznamu trvajícího 240 μs je zobrazeno 27,5 délek dob trvání přenosu jednoho bitu. Doba přenosu jednoho bitu je tedy $240 \mu\text{s} / 27,5 = 8,72 \mu\text{s}$. Po převedení na sekundy a provedení převrácené hodnoty dostáváme komunikační rychlost 114 582 bps neboli 114,5 kbps. Nyní je možno prozradit, že skutečná komunikační rychlost je 115,2 kbps, což jsme výše uvedeným výpočtem odhadli relativně přesně. Dále bychom měli být schopni tuto komunikaci rozkódovat. Po prvním start bitu zleva následuje osmibitové slovo, jak je ale popsáno výše, za start bitem následuje nejméně významný bit, je tedy nutné toto osmibitové slovo číst od konce, tedy od stop

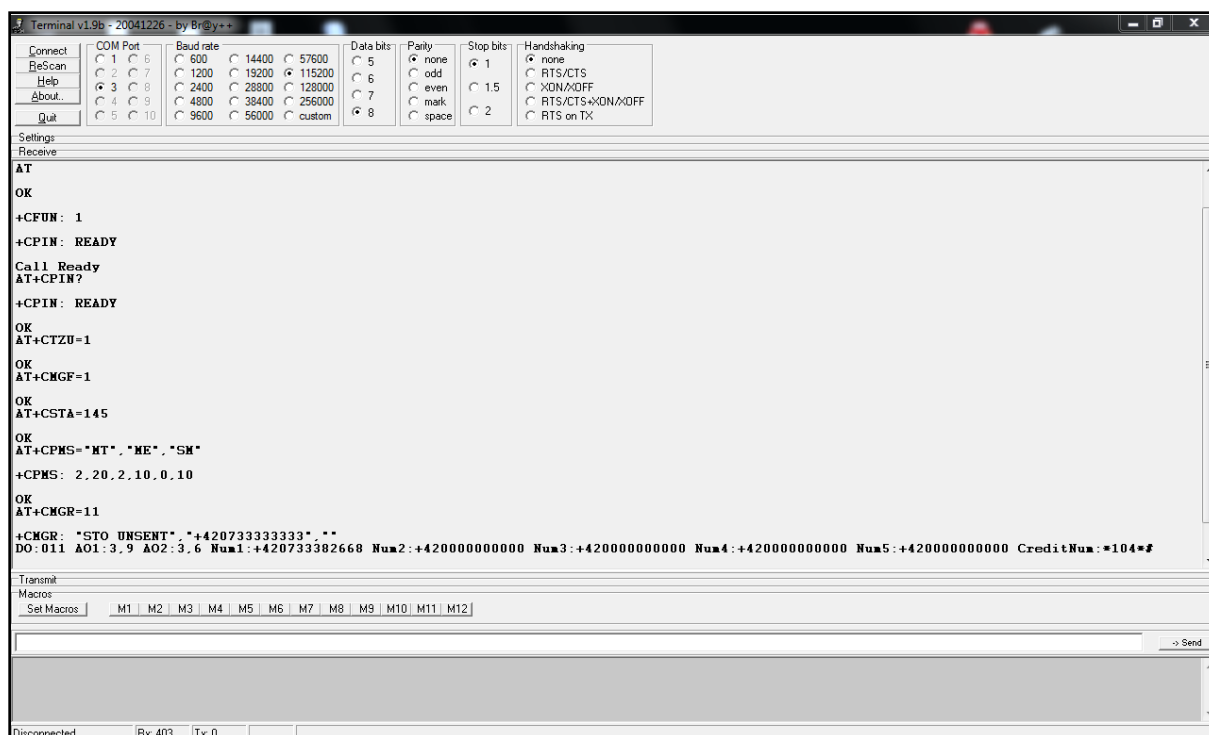
bitu. První osmibitové slovo je 0100 0001 a druhé 0101 0100. Po přeložení podle ASCII tabulky získáváme znaky „A“ a „T“.

Nyní se prakticky dostáváme k tomu, co to jsou AT příkazy. Jedná se o textové řetězce, které jsou posílány znak po znaku po sériové lince a slouží k ovládání GSM modemu. Mikrokontrolér zasílá AT příkazy do modemu a provádí tak nastavení, operace s SMS zprávami, zasílání dotazů a GSM modem na tyto dotazy odpovídá, potvrzuje provedené nastavení a podobně. Každý AT příkaz je ukončen znakem <CR> (carriage return), řídicím znakem s hexadecimálním kódem 0x0D. Každý AT příkaz má pevně danou a neměnnou syntaxi. Jakékoli změny v této syntaxi jsou nepřipustné. GSM modem nedokáže pochopit jakékoli odlišnosti v syntaxi a navrací zpět chybovou hlášku.

Příklad AT příkazů:

AT+CUSD	Zjištění stavu kreditu
AT+CSQ	Zjištění stavu signálu
ATH	Odmítnutí příchozího hovoru
AT+CLCC	Dotaz na systémový čas a datum
AT+CSTA	Nastavení číselného formátu
AT+CPMS	Nastavení datových úložišť
AT+CTZU	Synchronizace času s GSM sítí
AT+CMGF	Nastavení módu SMS
AT+CMGD	Smazání SMS zprávy
AT+CMGR	Přečtení SMS zprávy
AT+CMGS	Odeslání SMS zprávy
AT+CMGW	Uložení SMS zprávy do paměti
AT+CMSS	Odeslání SMS zprávy z paměti

Toto je jen ukázka několika AT příkazů. Jejich kompletní seznam lze nalézt v dokumentaci výrobce. Na obrázku můžeme pozorovat snímek programu Terminal 1.9b, v němž je zachycen průběh komunikace mezi mikrokontrolérem a GSM modemem. [14]



Obr.26. Program Terminal 1.9b, ukázka komunikace

Existuje velké množství různých nastavení GSM modemu. Detailní popis syntaxe a popis funkčnosti každého AT příkazu zdaleka přesahuje možnosti této diplomové práce. Nicméně napadají mě dva zajímavé příkazy, o jejichž funkčnosti bych se rád zmínil. Prvním z nich je příkaz AT+CMGF a druhým příkaz AT+CPMS.

Příkazem AT+CMGF je možnost zvolit jeden ze dvou režimů, a sice textový, nebo PDU režim. Volba tohoto režimu má zásadní vliv na syntaxi AT příkazů pracujících s SMS zprávami, avšak při zachování jejich významu. Například pro rozdíl ve výpise všech SMS zpráv uvedeme:

Textový mód: `AT+CMGL="ALL"<CR>`

PDU mód: `AT+CMGL=4<CR>`

Zatím se může zdát výhodnější PDU režim, ale syntaxe a náročnost při odesílání SMS zprávy v textovém a PDU módu je naprosto odlišná:

Textový mód: `AT+CMGS="+420733333333"<CR>Posílání SMS zpráv je snadné<Ctrl+z>`

+420733333333 je telefonní číslo, na které je SMS zasílána.

V režimu PDU by za „AT+CMGS=“ následovalo už jen velké množství znaků v hexadecimálním kódování. Do tohoto hexadecimálního řetězce by kromě samotné SMS zprávy bylo potřeba zadat i velké množství údajů, jako jsou informace o odesílateli, číslo SMS centra, informace o protokolu, identifikátor, typ kódování, časové razítko a podobně. PDU režim by několikanásobně ztížil algoritmus a naprogramování všech operací s SMS zprávami, proto byl textový režim jednoznačnou volbou.

Druhým zajímavým a důležitým příkazem je příkaz AT+CPMS (Preferred Message Storage). Pomocí tohoto příkazu lze provádět volbu preferovaných datových úložišť. GSM modem má k dispozici dvě datová úložiště pro SMS zprávy: ME – paměťové místo v GSM modemu a SM – paměťové místo na SIM kartě. MT je hromadné označení pro všechna paměťová místa, tedy ME + SM. Nejlepší vysvětlení bude pravděpodobně opět na příkladu. AT příkaz posílaný do modemu vypadá následovně:

AT+CPMS="P1","P2","P3"<CR>

Výše uvedený příkaz obsahuje tři parametry P1 až P3. Prvním parametrem se nastavuje datové úložiště, na němž je oprávněno vyčítání a mazání SMS zpráv. Druhým parametrem P2 je nastaveno datové úložiště, na které je možno uložit SMS zprávu přes AT příkaz. Parametrem P3 je pak určeno preferované úložiště pro nově přichozí SMS zprávy. Ve mnou vytvořené komunikační jednotce je při startu a inicializaci do GSM modemu poslán následující příkaz:

AT+CPMS="MT","ME","SM"<CR>

Příkaz prakticky znamená, že je povoleno vyčítání a mazání zpráv na všech datových úložištích, jak na SIM kartě, tak v paměti GSM modemu. SMS zprávy ukládané přes AT příkazy jsou uloženy do paměti modemu a nově přichozí SMS zprávy jsou ukládány do paměti SIM karty. [14][15]

3.12.4 Programování zasílání textových řetězců

Pro sériovou komunikaci mikrokontroléru a GSM modemu jsem vytvořil funkci (podprogram) *SendString(char StrToSend[256], char Response[16])*, kde za *StrToSend* lze dosadit buď název pole znaků, které obsahuje požadovaný text k odeslání, nebo do dvojitých uvozovek přímo konkrétní textový řetězec k odeslání. Za *Response* je dosazována požadovaná odpověď. Funkce za řetězec k odeslání *StrToSend* připojí ukončovací znak <CR> a odešle jej do GSM modemu. Následně je přijímána odpověď z GSM modemu do pole *Recieved* a je čekáno několik milisekund od přijetí posledního znaku, zda modem ještě nějaký nepošle. Přijatá odpověď z GSM modemu je testována a je-li v ní obsažen textový řetězec *Response*, je funkce pro odesílání textových řetězců *SendString* ukončena. Pokud přijatý řetězec požadovanou odpověď neobsahuje, je znovu provedeno odeslání řetězce *StrToSend* a čekáno na odpověď a opět je odpověď z GSM modemu testována na přítomnost požadované odpovědi *Response*. Aby se takto program nezacyklil donekonečna, může být provedeno znovuodeslání maximálně stokrát, poté je funkce ukončena. Následná část programu za voláním funkce *SendString* má celou odpověď GSM modemu k dispozici v poli znaků *Recieved*, může s ní libovolně pracovat, vyčítat z odpovědi GSM modemu, například aktuální čas, datum, stav signálu, vyčítat přijaté a uložené SMS a mnoho dalšího. Kontrolu přijaté odpovědi, zda obsahuje požadovaný řetězec, jsem implementoval z toho důvodu, že GSM modem neodpoví vždy úplně korektně, jak by podle předpokladů odpovědět měl. Například v případě nepřipravenosti, zaneprázdnění modemu či SIM karty nebo jiného problému GSM modem místo požadované odpovědi odpoví chybovou hlášku. Během postupného ladění programu, jak docházelo k jeho optimalizaci, umělému zvětšování prodlení a méně častému dotazování, se postupně snižoval počet navracených chybových hlášek a nutnost opakování vysílání příkazů až téměř k nule.

Příkaz k odeslání textového řetězce nastavující GSM modem do textového režimu vypadá takto:

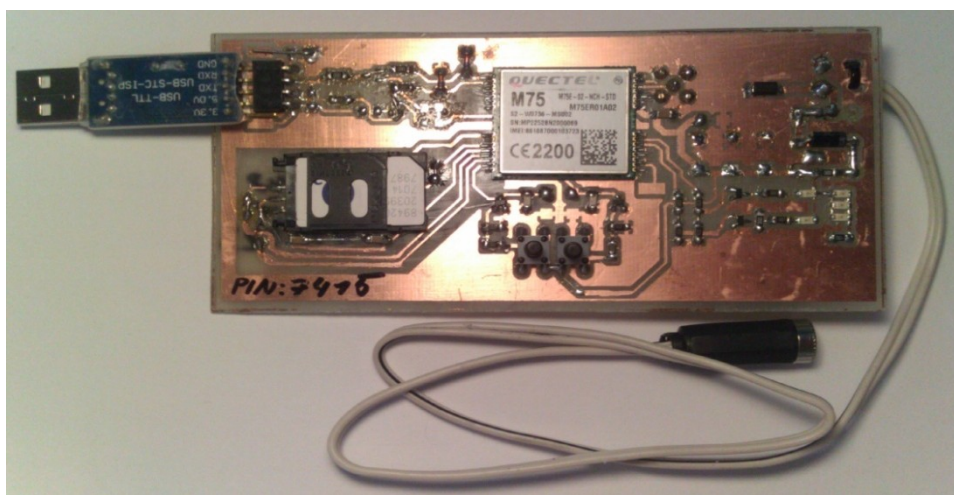
SendString("AT+CMGF=1","OK");

Mikrokontrolér pošle textový řetězec AT+CMGF=1<CR> do GSM modemu a čeká na odpověď. Pokud modem odpoví OK, funkce k odeslání je ukončena a v další části programu si můžeme být jisti, že GSM modem pracuje v textovém režimu.

Příkaz k nastavení GSM modemu do textového režimu je velice jednoduchý, jelikož je pevně daný a v jeho syntaxi se absolutně nic nemění. Daleko složitější však bylo poskládání textových řetězců pro odeslání SMS, kde tato SMS zpráva obsahuje informace o všech digitálních a analogových vstupech a výstupech a dále údaj o teplotě a stavu kreditu. Druhým podobným problémem bylo rozkódování například přijatých řetězců z GSM modemu obsahující čas, datum, stav signálu a také rozkódování přijatých nebo uložených SMS zpráv. U přijatých SMS zpráv se kontroluje, zda byly odeslány z autorizovaného telefonního čísla, zda obsahují korektní informace o žádoucím nastavení digitálních a analogových výstupů, zda místo korektních číselných hodnot o nastavení výstupů nejsou nesmyslné znaky a podobně. Při řešení skládání a dekodování mi velmi pomohly standardní funkce knihovny *string.h*. Tato knihovna obsahuje řadu funkcí právě pro operace s textovými řetězci, z nichž jsem nejčastěji používal *strcpy* (kopírování textových řetězců), *strcat* (zřetězení, připojení jednoho řetězce za druhý), *strstr* (nalezení řetězce v jiném řetězci, funkce vrací adresu paměti začátku nalezeného řetězce).

3.13 Vývoj GSM komunikační jednotky

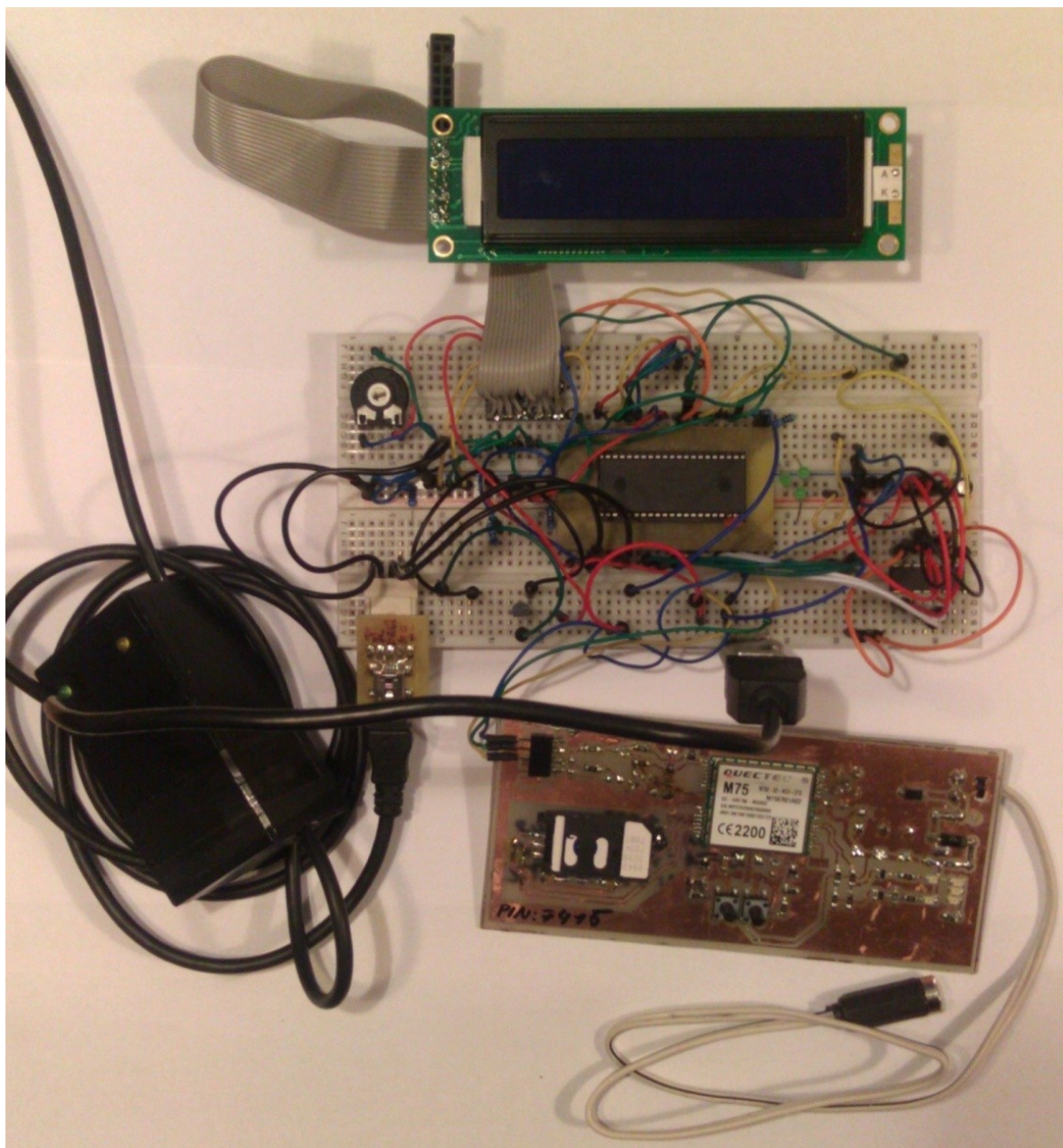
V první fázi jsem si musel zvolit vhodný GSM modem. Po průzkumu trhu jsem se z již výše uvedených důvodů rozhodl pro modem Quectel M75. Jednalo o můj první kontakt s takovým modemem a potřeboval jsem si ověřit jeho chování a funkčnost. Vytvořil jsem proto prototypovou DPS, kde byl se samotným modemem propojen držák SIM karty, SMA anténní konektor s našroubovanou anténou (z druhé strany DPS, anténa ani konektor nejsou na obrázku viditelné). Signály Rx a Tx a Gnd nezbytné pro sériovou komunikaci byly vyvedeny do dutinkové lišty. Dále byly k modemu připojeny dvě tlačítka a dvě signalizační LED. Tuto prototypovou desku bylo potřeba napájet ze stabilizovaného 5V zdroje, usměrňovací dioda na DPS tvořila konstantní úbytek, vzniklo tak požadované napájecí napětí modemu.



Obr.27. DPS k prvním pokusům s GSM modemem

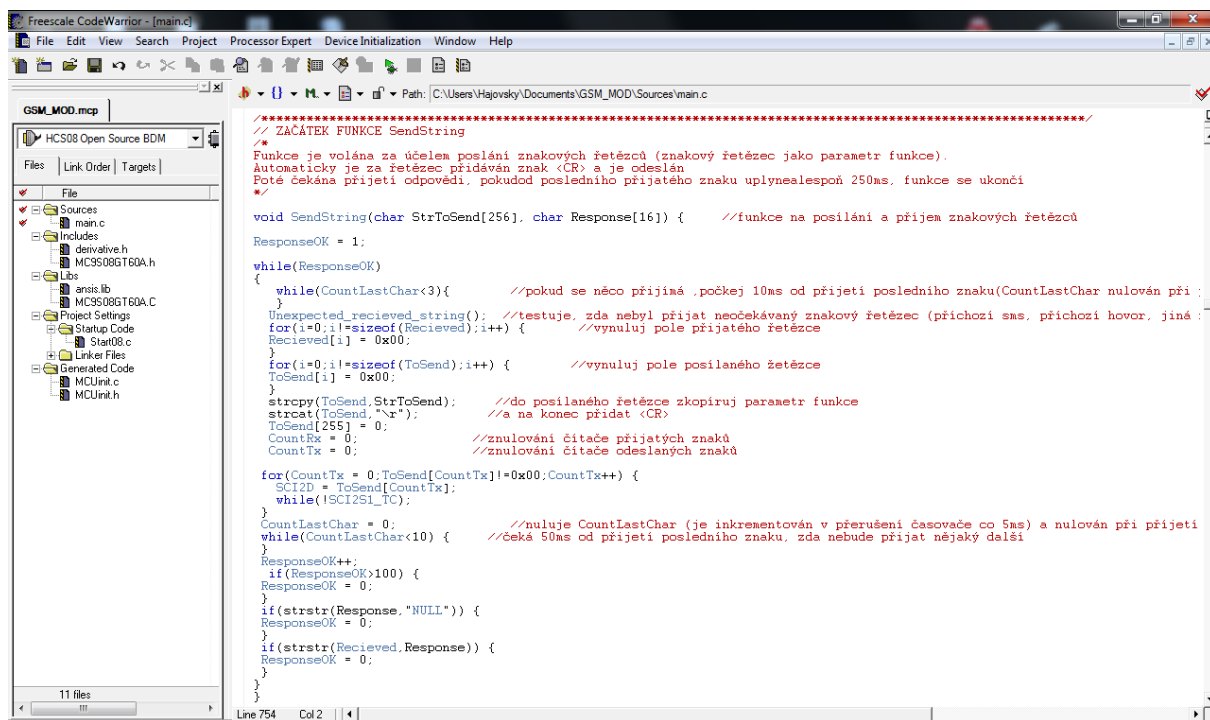
Na Obr. 27 vidíme zmiňovanou DPS určenou k prvotním pokusům. Po přivedení napájení bylo třeba modem přibližně jednosekundovým stiskem levého tlačítka zapnout, taktéž šel delším stiskem tohoto tlačítka vypnout. Právě tlačítko slouží k urgentnímu vypnutí modemu, ale nebyl důvod jej používat. Dvě diody vpravo dole indikují stav modemu. Jedna indikuje zapnutí modemu neustálým svícením a druhá LED svým blikáním indikuje stav připojení k síti. Na obrázku vlevo nahoře můžeme vidět převodník USB / TTL UART zasunutý do jumperové dutinkové lišty. Pomocí programu Terminal 1.9b jsem přes tento převodník poprvé komunikoval s GSM modemem. Syntaxe AT příkazů nebyla z dokumentace výrobce vždy zcela úplně zřejmá a příklady nalezené na internetu také mnohdy nefungovaly. Nezbylo, než zkoušet metodou pokus-omyl. Jen pro představu, zjištění správné syntaxe AT příkazu pro odeslání nebo uložení SMS mi zabralo přibližně tři dny. Dotaz na operátora na stav kreditu pak ještě déle.

Jakmile jsem měl potřebné funkce modemu vyzkoušené, měl jsem zjištěnou a zaznamenanou potřebnou syntaxi AT příkazů a odpovědi modemu, mohl jsem začít s programováním mikrokontroléru a pustil jsem se do vytváření funkce pro obsluhu sériové linky. Propojil jsem mikrokontrolér s osobním počítačem přes sériovou linku právě pomocí zmiňovaného převodníku USB / TTL UART. Mikrokontrolér posílal AT příkazy do PC, kde jsem opět v programu Terminal 1.9b sledoval jejich správnost a přes tento program jsem mikrokontroléru na jeho AT příkazy odpovídal. Osobním počítačem jsem tak simuloval chování GSM modemu. Po odladění sériové komunikace mezi mikrokontrolérem a osobním počítačem simulujícím GSM modem jsem mohl přímo propojit mikrokontrolér s GSM modemem a převodníkem USB / TTL UART jsem neustále tuto komunikaci odposlouchával a kontroloval její správnost. V této fázi byla napsána drtivá většina programu. Byla vyřešena obsluha displeje, tlačítek, digitálních a analogových vstupů a výstupů a také měření teploty čidlem SMT160.



Obr.28. Testovací sestava

Na obrázku vidíme sestavu, na které bylo ověřeno elektrické zapojení a vývoj téměř celého programu mikrokontroléru. Sestava se skládala z nepájivého pole s mikrokontrolérem, připojeného alfanumerického displeje, programátoru a DSP s GSM modemem propojenou s mikrokontrolérem sériovou linkou. V této sestavě byla na nepájivém poli odzkoušena téměř kompletní funkčnost budoucí GSM komunikační jednotky včetně simulace tlačítek, digitálních a analogových vstupů a výstupů a měření teploty z teplotního čidla SMT160. Vývoj programu mikrokontroléru probíhal v aplikaci Code Warrior v6.3. Jako programátor a debugger jsem použil vlastní USBDM_JS16. Jedná se o Open Source programátor, kterým lze programovat mikrokontroléry Freescale řad HCS08, HCS12 a Coldfire V1.



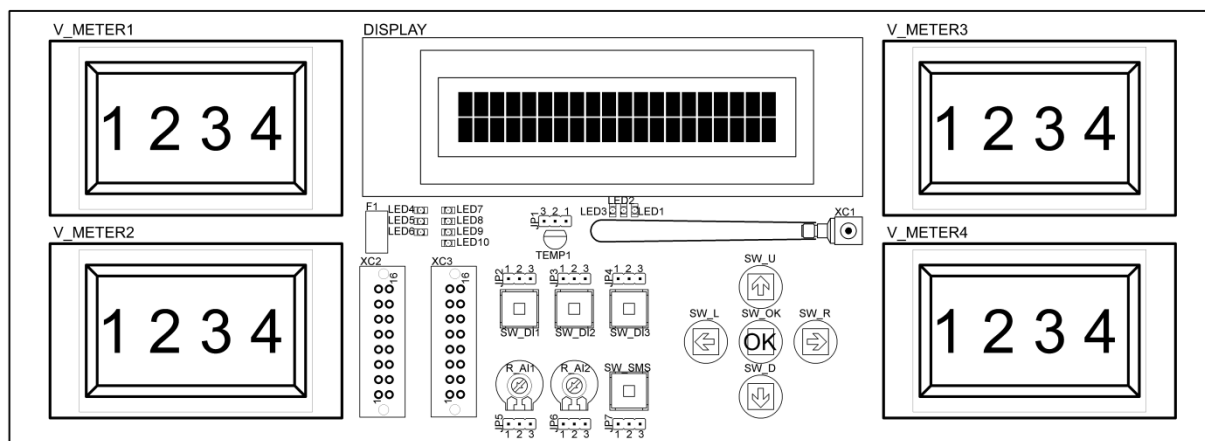
Obr.29. Vývojové prostředí CodeWarrior v6.3

Jakmile byla sestava kompletně funkční, včetně obsluhy tlačítek, displeje, GSM modemu, všech digitálních a analogových vstupů a výstupů, měření teploty a jakmile bylo zřejmé, že k dalším úpravám hardware již nedojde, mohl jsem začít pracovat na finálním návrhu GSM komunikační jednotky. Jako konstrukční řešení jsem zvolil zasunutí DPS do hliníkového profilu. Vzhledem k vysokým cenám originálních drážkovaných profilů jsem zvolil klasický hladký profil tvaru „U“ o vnějším rozměru základny 103,6 mm, vnější výšce bočnic 38 mm a tloušťce materiálu 1,8 mm. U tohoto profilu bylo dále potřeba patřičně upravit délku, zevnitř obou bočnic vyfrézovat drážky pro uchycení DPS. Ze zbytků hliníkového profilu jsem vytvořil boční kryty. Cena klasického hladkého hliníkového profilu je několiknásobně, řádově patnáct až dvacet krát levnější, než originální housingovací drážkované hliníkové profily pro uchycení DPS od společností Bopla, Fischer Elektronik nebo Hammond. Jakmile jsem měl vybrán hliníkový profil, začal jsem pracovat na samotném návrhu DPS v programu EAGLE 6.2.0. Výrobu oboustranného plošného spoje jsem svěřil firmě pana Petra Huraba z Havířova, jelikož jsem měl o kvalitě jeho práce velice pozitivní reference. Osazování finální DPS jsem prováděl sám v domácích podmínkách. Ožívování proběhlo bez větších komplikací, docházelo pouze k ladění a optimalizaci firmwaru. Finální verze programu má velikost přes 17 kB.

4 Finální GSM komunikační jednotka

4.1 Charakteristika finálního výrobku

- univerzální GSM komunikační jednotka
- napájení 17 až 30 V
- 3 digitální vstupy (24 V, $R_{IN} = 3\text{ k}\Omega$)
- 1 digitální vstup pro odeslání SMS (24 V, $R_{IN} = 3\text{ k}\Omega$)
- 1 digitální vstup externího teplotního čidla SMT160
- 3 digitální výstupy (spíná max. 30 V, 150 mA)
- 2 analogové vstupy (0–5 V, rozlišitelnost 0,1 V)
- 2 analogové výstupy (0–5 V, rozlišitelnost 0,1 V)
- možnost simulování všech digitálních i analogových vstupů
- stavy všech digitálních vstupů i výstupů indikovány LED
- stavy všech analogových vstupů i výstupů měřeny modulovými voltmetry
- indikace napájení a stavu GSM modemu
- displej zobrazuje datum, čas, teplotu a sílu signálu
- nastavení digitálních a analogových výstupů pomocí menu
- zobrazení stavů všech digitálních i analogových vstupů v menu
- displej zobrazuje datum, čas, teplotu a sílu signálu
- nastavení až 5 autorizovaných telefonních čísel
- nastavení čísla pro zjištění kreditu
- zobrazení stavu kreditu v menu
- nastavení všech digitálních a analogových výstupů podle přijaté SMS
- akceptování přijatých zpráv pouze z autorizovaných čísel
- odesílání SMS se stavy všech digitálních a analogových vstupů a výstupů
- v odchozí zprávě navíc obsažena informace o teplotě a kreditu
- odchozí zprávy zasílá na všechna nastavená autorizovaná čísla
- posláním SMS z autorizovaného čísla lze vyžádat zaslání SMS z GSM jednotky
- výstup DO3 negován prozvoněním z autorizovaného čísla
- autorizovaná telefonní čísla, číslo ke zjištění stavu kreditu a stavy digitálních a analogových výstupů jsou uloženy v napěťově nezávislé paměti
- po výpadku a obnově napájení jsou autorizovaná telefonní čísla, číslo ke zjištění stavu kreditu a stavy digitálních a analogových výstupů obnoveny



Obr.30. Čelní panel GSM komunikační jednotky

Následující tabulka popisuje význam jednotlivých prvků GSM jednotky a také nastavení zkratovacích propojek.

Název prvku	Funkce
XC1	SMA anténní konektor
XC2	Konektor – napájení, digitální výstupy, analogové výstupy
XC3	Konektor – digitální vstupy, teplotní vstup, vstup k odeslání SMS, analogové vstupy
DISPLAY	Alfanumerický LCD displej
SW_U, SW_L, SW_OK, SW_R, SW_D	Ovládací tlačítka
F1	Pojistka 1A, T
TEMP1	Teplotní čidlo SMT160
SW_DI1, SW_DI2, SW_DI3	Tlačítka simulující digitální vstupy
SW_SMS	Tlačítko k odeslání SMS
R_AI1, R_AI2	Simulace analogových vstupů
JP1	Volba integrovaného čidla TEMP1 (propojeny piny 1, 2) nebo externí čidlo (propojeny piny 2, 3)
JP2, JP3, JP4	Funkce tlačítek SW_DI1, SW_DI2, SW_DI3 (propojeny piny 1, 2) nebo externí signály (propojeny piny 2, 3)
JP5, JP6	Funkce R_AI1, R_AI2 (propojeny piny 1, 2) nebo externí signál (propojeny piny 2, 3)
JP7	Funkce tlačítka SW_SMS (propojeny piny 1, 2) nebo externí signál (propojeny piny 2, 3)
LED1	Indikace napájení GSM modemu
LED2	Indikace zapnutého GSM modemu
LED3	Indikace stavu připojení GSM k síti
LED4, LED5, LED6	Indikace stavů digitálních výstupů
LED7, LED8, LED9	Indikace stavů digitálních vstupů
LED10	Indikace stavu signálu k odeslání SMS
V_METER1	Měření analogového vstupu AI1
V_METER2	Měření analogového vstupu AI2
V_METER3	Měření analogového výstupu AO1
V_METER4	Měření analogového výstupu AO2

4.2 Ovládání GSM komunikační jednotky:

4.2.1 Korektní zapnutí přístroje

Před zapnutím je třeba vložit SIM kartu do držáku SIM karty z druhé strany DPS. Na SIM kartě musí být deaktivován požadavek na PIN kód. Po zkompletování GSM jednotky – zasunutí DPS do drážek v bočnicích hliníkového profilu a přišroubování odnímatelných bočnic může být přivedeno napájecí napětí.

Při nárůstu napájecího napětí nad 17 V dojde k nastartování. Jakmile napájecí napětí jednou vzroste nad 17 V, může poté klesnout až k 9 V. Pokud je napájecí napětí nízké, při připojení je nižší než zmiňovaných 17 V nebo během provozu klesne pod 9 V, zobrazí se na displeji hláška informující o nízkém napájecím napětí.

LOW SUPPLY
VOLTAGE

Jakmile je napájecí napětí dostatečné, probíhá start GSM modemu. Je zjišťována přítomnost SIM karty, a zda je na ní deaktivován požadavek na PIN kód. Pokud SIM karta chybí nebo je blokována PIN kódem, GSM modem se vypne, je vypnuta kontrola poklesu napětí a na displeji je zobrazena hláška informující o problémech se SIM kartou. Kontrola poklesu napětí je vypnuta z toho důvodu, aby při pouhém poklesu a opětovném nárůstu napájecího napětí nedošlo k opakovanému startu a inicializaci. V tomto stádiu je třeba odpojit napájení, ověřit přítomnost SIM karty a zkontrolovat deaktivaci požadavku na PIN kód, například v mobilním telefonu.

Missing or blocked
SIM card!

Pokud se SIM kartou nejsou žádné problémy, probíhá inicializace a z paměti GSM modemu je vyčtena uložená SMS s autorizovanými telefonními čísly, s telefonním číslem pro zjišťování stavu kreditu a s hodnotami digitálních a analogových výstupů při předchozím vypnutí. SMS s autorizovanými čísly, číslem pro zjišťování stavu kreditu a s hodnotami digitálních a analogových vstupů je během provozu uložena pokaždé, když je provedena změna některého z těchto parametrů. Při vypnutí a zapnutí jsou tedy ve vyčítané SMS z paměti modemu vždy nejaktuálnější možné informace. Jsou nastaveny digitální a analogové výstupy a do příslušných proměnných uložena vyčtená telefonní čísla. Během inicializace celého zařízení je na displeji zobrazena hláška:







STARTING MODULE

Inicializační operace většinou trvají v rozmezí pěti až deseti sekund. Poté je po dobu dvou a půl sekund na displeji zobrazena hláška informující o úspěšně provedené inicializaci a nastartování jednotky.

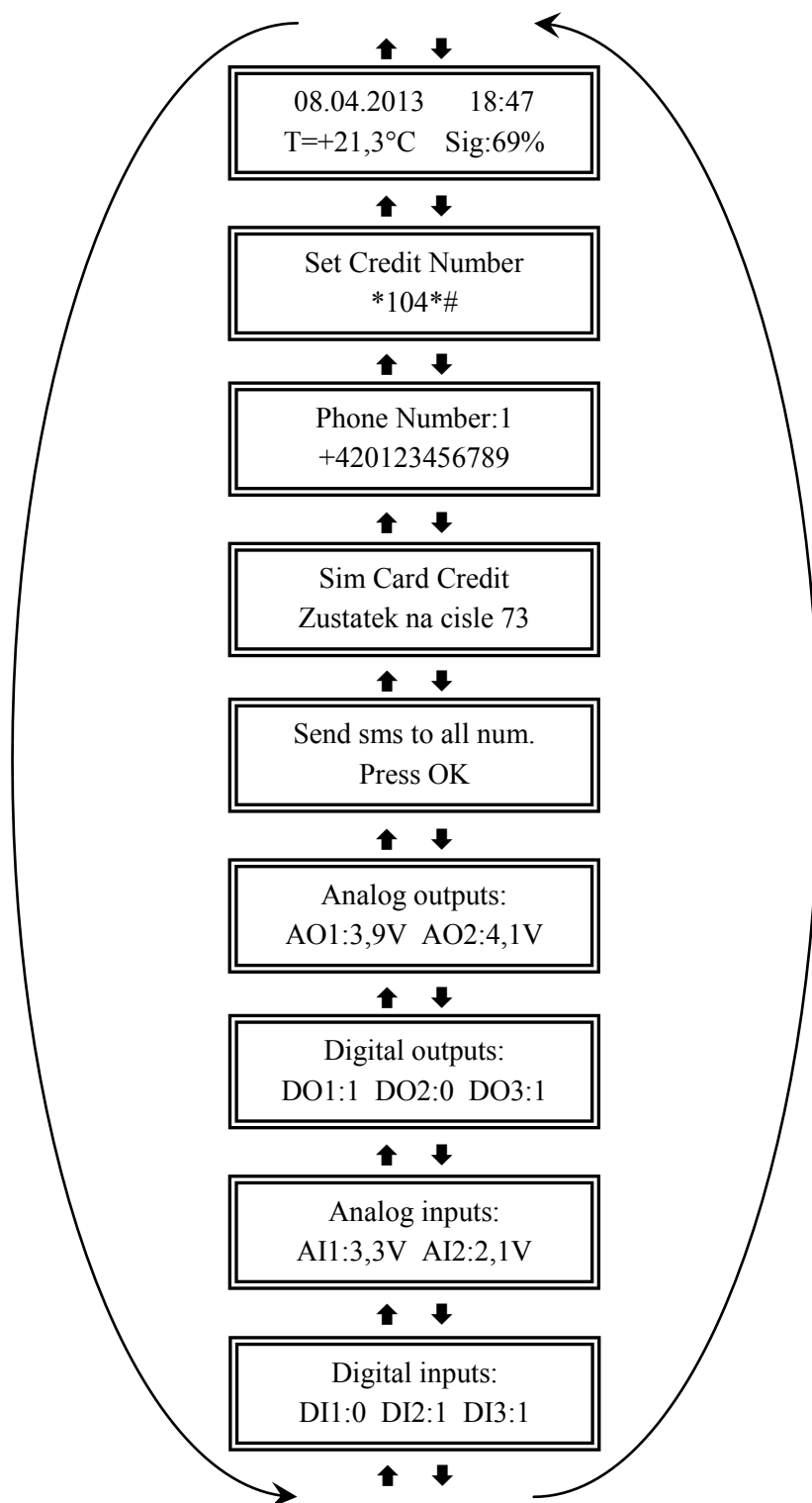
MODULE STARTED

Poté se na displeji zobrazí hlavní obrazovka s informacemi o datu, času, teplotě a síle signálu. Hodnoty data a času jsou získány z mobilní sítě a jsou zobrazeny s respektováním časového pásma. V případě odpojeného nebo vadného teplotního čidla je na displeji místo hodnoty teploty zobrazen nápis „ERROR“. Při korektním provozu problikává dvojtečka oddělující hodiny a minuty, a displej může vypadat následovně:

08.04.2013 18:47
T=+21,3°C Sig:62%

Ovládacími tlačítka SW_U  a SW_D  je prováděn pohyb mezi jednotlivými položkami menu. V případě že není realizováno žádné nastavování, po deseti sekundách od stisku posledního tlačítka program se vrací opět na hlavní obrazovku. Výjimku tvoří zobrazení stavu kreditu, kde celý text se stavem kreditu proběhne dvakrát přes displej a poté se okamžitě skáče na hlavní obrazovku. V položce menu, kde je možnost provádění nastavení, po stisku tlačítka SW_OK (OK) se nastavovaná číslice, případně znak rozbliká a tlačítka  a  je možno provádět úpravu její hodnoty. Tlačítka SW_L  a SW_R  je prováděn výběr nastavovaného znaku. Ukončení provádění nastavení je možno pouze stiskem tlačítka OK.

4.2.2 Položky menu



Obr.31. Pohyb tlačítka v položkách menu

Obrázek Obr. 31 znázorňuje pohyb v jednotlivých položkách menu stiskem tlačítek **▲** a **▼**.

Při nastavování čísla pro zjištění stavu kreditu lze zadat kromě číslic 0 až 9 také znaky hvězdička „*“, křížek „#“ a prázdný znak „“. Při nastavování tohoto čísla lze zadat maximálně šest znaků. Pokud číslo na zjištění stavu kreditu obsahuje méně znaků, musí být za posledním znakem prázdný znak „“.

Položka nastavení telefonních čísel slouží k nastavení až pěti autorizovaných čísel. Z těchto čísel budou akceptovány přijaté SMS zprávy a na všechna tato čísla budou SMS zprávy odesílány. Z těchto čísel bude rovněž akceptováno prozvonění a následná negace digitálního výstupu DO3. Tlačítka **◀** a **▶** lze zobrazit další telefonní čísla. Pro nastavení čísel je nutno stisknout tlačítko **OK**. Nastavovaná čísllice se rozblíká, tlačítka **◀** a **▶** je proveden její výběr a tlačítka **▲** a **▼** se uskutečňuje změna hodnoty. Pokud má být číslo deaktivováno, musí obsahovat minimálně devět nul za sebou, tedy například „+420000000000“. Pro ukončení nastavení je opět potřeba stisk tlačítka **OK**. Na pořadí nastavených čísel nezáleží.

Na položce menu „Sim Card Credit“ je zobrazován aktuální stav kreditu. Během komunikace s operátorem a zjišťování stavu kreditu problikává na druhém řádku řada hvězdiček: „*****“ a po úspěšném zjištění stavu kreditu je na tomto řádku zobrazen běžící text informující o výši kreditu a době jeho platnosti. V případě špatně nastaveného telefonního čísla pro zjištění stavu kreditu se na druhém řádku zobrazí nápis: „Set Credit Number!“.

Přes položku menu „Send sms to all num.“ je možno stiskem tlačítka **OK** odeslat SMS zprávy na všechna nastavená telefonní čísla. Při odeslání se na prvním řádku displeje objeví „WORKING...“. Poté je na tomto řádku zobrazen po dobu dvou a půl sekundy například nápis „SMS No. 2“ informující, že došlo k pokusu o odeslání SMS na druhé uložené telefonní číslo. A pokud byl tento pokus úspěšný, pak bude na druhém řádku dále zobrazeno „sent succesfully“. V případě neúspěšného odeslání z důvodu nízkého stavu kreditu, vypršení platnosti nebo jiného problému bude na druhém řádku zobrazen nápis „ERROR!“. Tak bude proveden pokus o odeslání SMS na všechna telefonní čísla, která neobsahují devět nul v řadě. Naprosto totožný efekt odeslání SMS na nastavená telefonní čísla má digitální vstup DI_SMS nebo příkaz „send sms“ v příchozí SMS zprávě z autorizovaného čísla.

V položkách menu „Digital outputs“ a „Analog outputs“ jsou zobrazeny nastavené hodnoty digitálních a analogových výstupů. Nastavování je uskutečněno stejným způsobem jako nastavování telefonních čísel. Pro nastavení je nutno stisknout tlačítko **OK**. Nastavovaná čísllice se rozblíká, tlačítka **◀** a **▶** je proveden výběr nastavované čísllice a tlačítka **▲** a **▼** se provede změna hodnoty. Ukončení nastavení je pak vykonáno stiskem tlačítka **OK**.

Položky „Digital inputs“ a „Analog inputs“ slouží pouze k zobrazení aktuálních stavů digitálních a analogových vstupů a není možno v nich cokoli nastavovat.

4.2.3 Nastavování výstupů GSM jednotky

Nastavování analogových a digitálních výstupů lze provádět již zmiňovaným přístupem přes položky menu. Digitální výstup DO3 je možno negovat prozvoněním autorizovaného telefonního čísla. U příchozího hovoru se zjistí, zda je voláno autorizovaného čísla, je provedena negace digitálního výstupu DO3 a hovor je GSM jednotkou zavěšen. Výhodou je, že tato operace je naprosto

zdarma. Výstupy lze také nastavovat odesláním SMS z autorizovaného čísla do GSM jednotky. Jednotlivé příkazy mohou být v SMS zprávě v libovolném pořadí a mohou být zaslány všechny nebo jen některé.

Příkazy v SMS zprávě k nastavení výstupu mohou vypadat následovně:

DO:101	nastavení digitálních výstupů (DO1 vlevo, DO2 uprostřed, DO3 vpravo)
AO1:3,3	nastavení analogového výstupu AO1 na 3,3V
AO2:2,5	nastavení analogového výstupu AO2 na 2,5V
send sms	příkaz k odeslání SMS z jednotky na všechna autorizovaná čísla

Po příchodu SMS zprávy je provedena kontrola, zda přišla z autorizovaného telefonního čísla. U příkazu DO: je pro každý digitální výstup kontrolováno, zda se na jeho příslušném místě nacházejí znaky „0“ nebo „1“. Každý jiný znak nemá na nastavení daného digitálního výstupu žádný vliv.

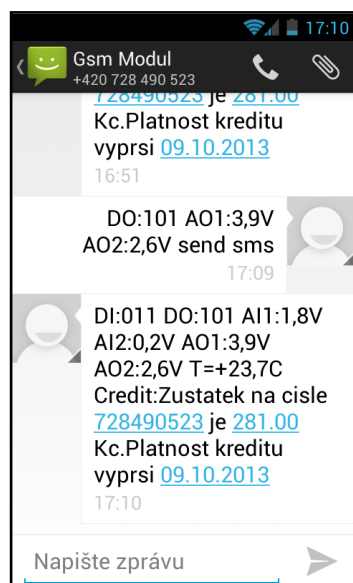
Například příkaz DO:A11 je ekvivalentní DO:g11 nebo DO:+11 a znamená nastavení (sepnutí) výstupů DO2 a DO3. Stav DO1 zůstane nezměněn. Pokud je tedy požadováno nastavení pouze některých digitálních výstupů, je třeba za ostatní výstupy dosadit jiné znaky než „0“ nebo „1“.

U příkazů AO1: a AO2: je kontrolováno, zda se za dvojtečkou na místě jednotek a na místě desetinného místa nachází číslice a zda je číslo menší nebo rovno pěti. Na znaku desetinné čárky nezáleží a může místo něj být libovolný znak. Například akceptovatelný příkaz by mohl vypadat následovně: „AO1:3,3“ a je ekvivalentní „AO1:3V3“, „AO1:333“, „AO1:333VX“. Jednoduše řečeno, záleží pouze na znaku za dvojtečkou a znaku na desetinném místě. Nezáleží na znaku desetinného znaménka nebo na tom, co následuje za desetinným místem. Příkaz, který nebude akceptován, může vypadat následovně: „AO1:3V“. Chybí v něm číslice na desetinném místě, správně by to bylo: „AO1:3V0“. Chybný příkaz může být také tento: „AO1:5,1V“. Nebude akceptován, jelikož hodnota je větší než 5,0.

Příkaz „send sms“ v SMS zprávě zajistí odeslání SMS zpráv z GSM jednotky na všechna nastavená telefonní čísla (s podmínkou dostatečného a platného kreditu). Příkaz má naprosto stejný vliv jako vstup DI_SMS nebo položka menu „Send sms to all num.“.

4.2.4 Odesílání SMS zpráv z GSM jednotky

Odeslání SMS zpráv může být provedeno přes položku menu „Send sms to all num.“, digitálním vstupem DI_SMS nebo příkazem „send sms“ v přijaté zprávě z autorizovaného telefonního čísla. Odchozí SMS zpráva z GSM jednotky obsahuje informace o všech digitálních i analogových vstupech a výstupech, informaci o teplotě a stavu kreditu.



SMS odeslaná z mobilního telefonu do GSM jednotky, nastavení výstupů a žádost o zaslání SMS zpět.

Příchozí odpověď z GSM modemu obsahující informace o všech digitálních i analogových vstupech a výstupech, dále informaci o teplotě a výši a platnosti kreditu.

Obr.32. Odeslaná a přijatá SMS

Na obrázku Obr. 32 vidíme snímek obrazovky mobilního telefonu se záznamem SMS zpráv. Z mobilního telefonu byla odeslána SMS nastavující všechny digitální a analogové výstupy a obsahující také příkaz k odeslání SMS na všechna nastavená telefonní čísla. V GSM modemu se provedlo požadované nastavení a proběhlo odeslání SMS. Na obrázku je vidět příchozí SMS zpráva z GSM jednotky obsahující kromě stavů digitálních a analogových vstupů a výstupů také informaci o teplotě a stavu kreditu. Syntaxe příchozí zprávy je dostatečně zřejmá a nevyžaduje žádný bližší komentář.

4.2.5 Komunikace dvou a více GSM jednotek

Existuje také možnost komunikace mezi dvěma a více jednotkami. Telefonní čísla nastavená v jednotkách nemusí být jen čísla na mobilní telefony, ale může se také jednat o telefonní čísla SIM karet umístěných v jiné GSM jednotce. Pro tento případ bylo požadavkem, aby jednotky spolu komunikovaly „do kříže“ neboli jinak řečeno, co je na vstupu jedné, aby bylo na výstupu druhé nebo všech ostatních. Avšak může nastat kolize. Text v odchozí zprávě „DO:“ znamená stav digitálních výstupů vysílací jednotky, a kdyby taková zpráva dorazila do jiné jednotky, nastavily by se digitální výstupy podle tohoto příkazu. Neboli by se v jednotce, kam SMS zpráva přichází, nastavily digitální výstupy stejně, jako jsou nastaveny digitální výstupy na jednotce, která SMS zprávu odeslala. Naprosto totožná situace nastává v případě nastavování analogových výstupů. Analogové výstupy by se nastavily podle „AO1:“ a „AO2:“. Tento stav je ale nežádoucí, jelikož požadavkem bylo, aby hodnoty, které jsou na vstupu jednoho, byly po přenosu SMS na výstupu druhé jednotky. Řešením bylo rozlišení, zda SMS zpráva přichází z mobilního telefonu nebo z GSM jednotky, a to na základě obsahu SMS zprávy. Zpráva z mobilního telefonu totiž nikdy neobsahuje informaci o teplotě a stavu kreditu. Pokud přijde do jednotky SMS zpráva, jež byla odeslána z jiné GSM jednotky, je provedeno nastavení výstupů nikoli podle „DO:“, „AO1:“ a „AO2:“, ale podle „DI:“, „AI1:“ a „AI2:“ tak, aby digitální a analogové výstupy jednotky, která SMS přijala, byly nastaveny jako hodnoty digitálních a analogových vstupů GSM jednotky, jež SMS odeslala.

5 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo provést rozbor způsobů řešení možných bezdrátových přenosů dat pro oblast použití v diagnostických a monitorovacích systémech a navrhnout a realizovat univerzální GSM komunikační jednotku na bázi mikrokontroléru a GSM modemu. Velká pozornost je v prvních kapitolách práce věnována vzniku prvních telekomunikačních sítí, GSM sítí a různým konstrukčním řešením GSM modemů a jednotek, neboť tato problematika přímo souvisí s praktickou realizační částí této práce. Dále jsou popsány možnosti bezdrátového připojení internetu pomocí mobilních sítí a satelitního připojení a možnosti optického propojení a tvorby malých bezdrátových rádiových sítí.

Podstatná část práce je věnována samotné konstrukci univerzální GSM komunikační jednotky. Je popsána celá koncepce jednotky, jednotlivé bloky, jejich význam a funkčnost. Následně je vysvětlen postup vývoje a na závěr ovládání zařízení.

Po dohodě s vedoucím diplomové práce nebyla funkčnost realizovaného vzorku ověřena v praktické aplikaci, ale pouze v „domácích“ podmínkách. Funkčnost byla testována prakticky neustále během vývoje zařízení na nepájivém poli, během osazování DPS a ožívování zařízení. Finální výrobek byl testován po dobu několika dní na všechny vlastnosti uvedené v této diplomové práci. Do GSM jednotky jsem zkoušel zasílat SMS z různých telefonních čísel a kontroloval vliv a chování GSM jednotky, zda budou provedena nastavení z SMS pouze z nastavených telefonních čísel. V době, kdy byl oživen pouze jeden kus GSM jednotky, byla vzájemná komunikace dvou jednotek testována odesíláním SMS z mobilního telefonu, ale ve tvaru odchozí SMS zprávy z GSM jednotky. Zkoušel jsem GSM jednotku prozvánět z různých telefonních čísel a sledoval, zda je negace DO3 provedena pouze u autorizovaných čísel a podobně.

Vývoj univerzální GSM komunikační jednotky měl pro mě přínos hlavně v oblasti zdokonalení programování mikrokontroléru. Bylo potřeba programově vyřešit obsluhu sériové linky a alfanumerického displeje, komunikaci přes SPI rozhraní s A/D převodníkem a velké množství dalších problémů. Poznal jsem principy a chování periférií mikrokontroléru, které jsem nikdy předtím nepoužíval. Části programu a podprogramy (funkce), jež jsem si vytvořil v rámci této diplomové práce, spolu se zkušenostmi a poznatky mi zcela jistě usnadní práci a zkrátí čas řešení budoucích projektů.

Seznam použité literatury

- [1] Bezdrátová komunikace v průmyslové automatizaci – pro a proti. In: WECZEREK, Jürgen a Václav CHYTIL. Odbornecasopisy [online]. [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=34318
- [2] Bezdrátové komunikace v automatizační praxi II: standard Bluetooth. In: BRADÁČ, Zdenek a Petr FIEDLER. Odbornecasopisy [online]. [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28874
- [3] Bluetooth Basics. [online]. [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: <http://www.bluetooth.com/Pages/Basics.aspx>
- [4] Bluetooth(TM) wireless communication. PHOENIX CONTACT. [online]. [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: http://www.phoenixcontact.com/global/news/248_7980.htm
- [5] FAQ. ZIGBEE ALLIANCE. [online]. [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: <http://www.zigbee.org/About/FAQ.aspx>
- [6] FREESCALE. MC9S08GT16A: Data Sheet. 7/2006. Dostupné z: http://cache.freescale.com/files/microcontrollers/doc/data_sheet/MC9S08GT16A.pdf?fpsp=1&WT_TYPE=Data%20Sheets&WT_VENDOR=FREESCALE&WT_FILE_FORMAT=pdf&WT_ASSET=Documentation
- [7] HISTORIE BEZDRÁTOVÉ KOMUNIKACE. [online]. [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: <http://ok1ike.c-a-v.com/soubory/bezdrat/bezdrat.html>
- [8] Historie mobilní komunikace. RAMBOUSEK, Adam. FAKULTA INFORMATIKY MASARYKOVY UNIVERZITY. [online]. 2003 [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: http://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2003/xrambous_index.htm
- [9] History: Brief History of GSM & the GSMA. GSMA. [online]. 2011 [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://www.gsma.com/aboutus/history>
- [10] Iridium Communications. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Iridium_%28satellite%29?oldid=270189903
- [11] JEHLIČKOVÁ, Lenka. Základy mobilního internetu [online]. Brno, 2011 [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=37158. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Stanislav Hanus.
- [12] MICROCHIP. MCP4821/MCP4822. U.S.A., 2005. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/21953a.pdf>
- [13] QUECTEL. M75 Quectel Cellular Engine: Hardware Design. M75_HD_V3.0. Shanghai, China, 17/4/2012.

- [14] QUECTEL. M75 Quectel Cellular Engine: AT Commands Set. M75_ATC_V3.0. Shangai, China, 18/4/2012.
- [15] Short Message Service / SMS Tutorial [online]. [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://www.developershomes.com/sms/>
- [16] SITRONIX. ST7066: Dot Matrix LCD Controller/Driver. V1.2. U.S.A., 6/2000. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/st7066.pdf>
- [17] SMARTEC. SMT160 Digital Temperature Sensor. Breda, Netherlands, 7/2005. Dostupné z: <http://www.smartec.nl/pdf/DSSMT16030.PDF>
- [18] Technologie WiMAX. [online]. [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: http://www.wimax.cz/index.php?option=com_content&task=category§ionid=4&id=13&Itemid=33
- [19] Technologie WiMAX: Časté dotazy. [online]. [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: http://www.wimax.cz/index.php?option=com_content&task=category§ionid=3&id=7&Itemid=25
- [20] TereScope700/G, Free Space Optics 425m@30db/km. [online]. [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: http://www.wifi-shop.cz/terescope700-g-free-space-optics-425m-30db-km_d2193.html
- [21] The Global Network: Satellite Constellation. [online]. 2012, 07/12 [cit. 2013-04-16]. Dostupné z: <http://www.iridium.com/DownloadAttachment.aspx?attachmentID=1197>
- [22] Wi-Fi. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>